Physikalische Studien

von

A. Tellkampf.

Physikalische Studien.

Eine

Reihe naturwissenschaftlicher Abhandlungen

von

Dr. A. Tellkampf,
Professor und Director der höheren Bürgerschule
in Hannover.

Hannover.
Carl Rümpler.
1854.

Schrift und Druck von Fr. Culemann.

Vorwort.

Die nachstehenden Abhandlungen gehören zum größten Theil dem Gebiete der physikalischen Speculation an und werden deshalb demjenigen wenig genügen, für den nur die Empirie der Naturwissenschaft Geltung hat. In der That enthalten sie fast nur theoretische Ansichten, eigene und fremde, und zwar über einen der abstractesten Gegenstände physikalischer Betrachtung. Denn die Idee, auf welche alle — näher oder entfernter — eingehen, ist die der *Entstehung* und *Gestaltung* der materiellen Welt, der *Bildung* verschiedenartiger Körper aus ihren Elementen. Aeltere und neuere Ansichten, wie sie dem Verfasser aus einer umfassenden Lectüre entgegentraten, sind hier in gedrängten Umrissen zusammengestellt, um die wesentlichen Divergenzpuncte hervorzuheben und zugleich daran zu erinnern, daß noch gar manche immerhin bedenkliche Behauptungen in unsern physikalischen Lehrbüchern auftreten. Wenn hier daher einzelne von den herkömmlichen abweichende Ansichten geltend gemacht werden, so geschieht dies hauptsächlich in der Absicht, zu einer Kritik aufzufordern, deren manche der currenten Vorstellungen und Begriffsbestimmungen der Physik in der That bedürftig erscheinen. Mag jener Kritik das was an diesem Orte als eigene Meinung ausgesprochen ist, eben so wenig oder noch minder genügen: immerhin wird sie es der Mühe werth achten dürfen, ihr Amt gerade nach der angegebenen Richtung hin zu üben.

Vier der hier vorliegenden Abhandlungen sind bereits in Schulschriften veröffentlicht, aber wohl kaum über einen engeren Kreis hinaus bekannt geworden. Die wiederholten Nachfragen nach zweien derselben (über Leibnizens Protogäa und die mathematische Behandlung der Chemie) lassen indessen vermuthen, daß der Inhalt derselben auch bei einem größeren Publicum Theilnahme finden werde, und der Verfasser gesteht, namentlich dadurch zu dem Entschluß veranlaßt worden zu sein, sie in Verbindung mit den übrigen inhaltsverwandten Aufsätzen dem Buchhandel zu übergeben. Die Schrift hätte leicht noch durch eine Reihe von Betrachtungen über Electricität und Magnetismus erweitert werden können; doch mögen diese einer späteren Veröffentlichung vorbehalten bleiben, falls es sich zeigen sollte, daß überhaupt Mittheilungen dieser Art und Form auf physikalischem Gebiete sich eine theilnehmende Beachtung versprechen dürfen.

Hannover, im Juni 1854.

Inhalt.

Leibniz
über die Bildung der Erdoberfläche.

Leibniz über die Bildung der Erdoberfläche.

Nicht selten ereignet es sich, daß die tiefblickenden Aussprüche eines ausgezeichneten Geistes von seinen Zeitgenossen unverstanden bleiben, um Verständniß und gerechte Anerkennung erst bei späteren Generationen zu finden. Ein merkwürdiges Beispiel dieser Erscheinung geben die von Leibniz in seiner Protogaea entwickelten geologischen Ansichten, die freilich an genialer Kühnheit zu mächtig über das Maß des Hergebrachten und zu seiner Zeit Geduldeten hinausragten, als daß nicht ein beschränkter Sinn daran hätte Anstoß nehmen und erschreckt vor solchen Neuerungen zurückweichen sollen. Die genannte Abhandlung, welche ihr berühmter Verfasser (nach seiner eigenen beiläufigen Erwähnung) bereits im Jahre 1691 entworfen, aber nur in ihren Grundzügen — auf dem engen Raum einer mäßigen Quartseite — durch die Acta Eruditorum v. J. 1693 (S. 40) mitgetheilt hatte, wurde in ihrer Vollständigkeit erst lange nach seinem Tode, im J. 1749, durch Scheid veröffentlicht, der den Titel: Protogaea durch den Zusatz „sive de prima facie telluris et antiquissimae historiae vestigiis in ipsis naturae monumentis dissertatio" in Uebereinstimmung mit den von Leibniz (in den Miscell. Berol. v. J. 1710, S. 118) selbst gewählten Ausdrücken näher erläuterte.

Auf der Königlichen Bibliothek zu Hannover, welche einen so reichen Vorrath Leibnizischer Handschriften aufbewahrt, finden

1 *

wir drei Manuscripte der Protogaea: das erste, eine Sammlung vergilbter und höchst unleserlich geschriebener Blätter und Blättchen, ist augenscheinlich der früheste, vielfach corrigirte und weiter ausgeführte Entwurf; das zweite stellt uns die Arbeit in fremden Schriftzügen, aber von Leibnizens Hand mit bedeutenden Zusätzen versehen und allem Anschein nach in dieser Gestalt von ihm zum Abdruck bestimmt, vor Augen; das dritte Manuscript endlich scheint eine viel später veranstaltete Copie des vorigen zu sein, unterscheidet sich von diesem nur durch den vorgesetzten Titel: De ortu et antiquissimo statu rerum naturalium in regionibus Brunsvico-Luneburgensibus Dissertatio und deutet in der That die von Leibniz seiner Abhandlung ursprünglich gegebene Bestimmung an, als Einleitung seiner Annales Imperii occidentalis Brunsvicenses zu dienen und in eine topographische Beschreibung der Braunschweig-Lüneburgischen Lande einzuführen, welche er der geschichtlichen Darstellung voranzuschicken die Absicht hatte. Wir sehen dies namentlich aus folgenden Aeußerungen in seinem „Entwurf der welfischen Geschichte" (Ges. Werke, Gesch. Bd. 4, S. 240):

„Ich fange an von den höchsten Antiquitäten dieser Lande, ehe sie vielleicht von Menschen bewohnt worden, und so alle Historien übersteigen, aber aus den Merkmalen genommen worden, so uns die Natur hinterlassen. Nehmlich daß allem Ansehen nach ein großes Theil dieser Lande (des unterirdischen Bergfeuers zu geschweigen, davon die fluores minerales oder fusiones und andere Bergarten zeigen) vom Wasser Veränderung erlitten, und daß diese Lande großen Theils unter Meer gewesen, zeigen die Glossopetrae, Bernstein und Spolia animalium marinorum; da dann auch zu handeln von den Rippen, Zähnen und reliquiis der unbekannten Thiere im Scharzfeldischen Loch und in der Baumannshöhle. — Desgleichen werde handeln von denen metallischen Fischen zu Osterode, welches

wahrhaffter Fische Abformungen sein und bei deren Generation Feuer und Wasser concurriret haben mag. Dahin gehören auch die ruinae montium und andere Hauptveränderungen und einige Notabilia betreffend unsern Harz als höchsten Ort dieser Gegend."

Wenn Leibniz aber auch der Stellung gemäß, welche er seiner Abhandlung in jenem größeren Werke zugedacht, in derselben vorzugsweise auf die Gegenden Niedersachsens und ganz besonders auf die Berge des Harzes Rücksicht nimmt, so würde man doch sehr irren, wenn man der Protogaea wirklich nur die Bedeutung einer particulären geographischen Einleitung unterlegen wollte. Im Gegentheil überzeugt man sich bei ihrer Lesung sehr bald, daß hier vielmehr auf die universellste Art die Bildung der Erdoberfläche besprochen und auf unsre Gegenden nur beispielsweise Beziehung genommen wird. In diesem völlig allgemeingültigen Sinne spricht Leibniz auch seine geologischen Ansichten in jener obenerwähnten Skizze aus, welche die Acta Eruditorum enthalten. Gleichwohl erkennt er vollkommen, wie sehr es ihm zu thatsächlicher Begründung seiner Annahmen an einem hinreichenden Vorrathe umfassender Beobachtungen fehle und wie wenig seine Zeit überhaupt reif zur Entscheidung der von ihm behandelten Fragen sei. Er weis't wiederholt auf das Bedürfniß genauerer Untersuchungen der Erdoberfläche in den verschiedensten Gegenden hin und wünscht seinerseits durch das, was er über die geognostische Beschaffenheit eines ihm bekannten Landstrichs sagt, zu jenem für die Wissenschaft wünschenswerthen Vorrathe von Thatsachen nur einen Beitrag zu geben. Daß er seine Arbeit wirklich in diesen verschiedenartigen Beziehungen aufgefaßt, geht ganz unverkennbar aus den sehr bemerkenswerthen Worten hervor, mit denen er die Abhandlung einleitet und die wir der ersten der obenerwähnten Abschriften von ihm eigenhändig vorgesetzt finden:

„Magnarum rerum etiam tenuis notitia in pretio habetur. Itaque ab antiquissimo nostri tractus statu orsuro dicendum est aliquid de prima facie terrarum et soli natura contentisque. Nam editissimum Germaniae inferioris locum tenemus, maximeque metallis foecundum: et domi nobis insignes conjecturae et velut radii nascuntur publicae lucis unde ad caeteras regiones aestimatio procedat. Quodsi minus assequimur destinata, saltem exemplo proficiemus: nam ubi in suo quisque curiositatem conferet, facilius origines communes noscentur.“

Eine deutsche Uebersetzung der von Scheid veröffentlichten Protogaea erschien bereits im J. 1749, und da ein weiterer Abdruck des lateinischen Textes sich im zweiten Bande der von Dutens (1768) herausgegebenen Opera omnia Leibnitii befindet, welche man in einer bedeutenderen öffentlichen Bibliothek nicht leicht vermissen wird, so scheint für die Verbreitung dieser interessanten Schrift allerdings hinlänglich gesorgt und jeder weitere Schritt zu solcher Absicht überflüssig. Bei näherer Untersuchung wird man sich jedoch sehr bald überzeugen, wie wenig der geniale Entwurf eines geologischen Systems, wie Leibniz uns solchen in seiner Abhandlung hinterlassen, in den Kreisen derer, für welche er doch eigentlich bestimmt war, zu verdienter Anerkennung gelangte. Man bemerkt bei genauerem Eingehen in ältere Schriften über den Gegenstand, wie Leibnizens Zeitgenossen und auch noch spätere Gelehrte für das Verständniß seiner Ansichten im Grunde noch durchaus nicht befähigt waren. Dies zeigt unter Andern ein auf der Königlichen Bibliothek befindlicher Brief an Leibniz vom Jahre 1714, worin der damals mit Untersuchung von Petrefacten beschäftigte Bourguet ganz in der kleinlichen Betrachtungsweise befangen erscheint, welche sich zum Theil (wenigstens in England) noch bis auf den heutigen Tag behauptet hat. Konnte doch Bertrand (in seinem

Recueil de divers traités sur l'histoire naturelle de la terre et des fossiles) da, wo er von den versteinerten Resten einer untergegangenen Thier- und Pflanzenwelt redet, noch im Jahre 1752 den Ausspruch thun: Nous croyons que Dieu créa tous ces fossiles figurés comme il a créé tant de cristaux ou d'autres corps d'une figure constante et régulière qui ont toujours appartenu à la terre et qu'on n'a jamais envisagé comme des restes d'animaux ou de végetaux.

Wenn aber Leibnizens geistvoller Entwurf eines geologischen Systems den gegenwärtigen zahlreichen Freunden der Wissenschaft viel weniger bekannt geworden ist, als er es verdient, so liegt die Schuld weder allein an der Blödsichtigkeit so vieler Gelehrten des vorigen Jahrhunderts noch an der Unredlichkeit anderer, welche die Quelle verschwiegen, aus der sie ihre Ideen geschöpft: es ist mindestens eben so sehr der Mangel an vollendeter Form seiner Arbeit, an jener wohlgeordneten und abgerundeten Darstellung, wodurch z. B. Büffon seine Leser so mächtig zu fesseln verstand. Ungünstig für den naturwissenschaftlichen Stoff erscheint schon die Wahl der lateinischen Sprache, während Leibniz sich hier viel angemessener der französischen bedient haben würde. Um sich hiervon zu überzeugen, darf man nur §. 18 der Protogaea, wo von den Fischabdrücken in Kupferschiefer die Rede ist, mit dem französischen (unstreitig von L. selbst mitgetheilten) Texte in der Histoire de l'Académie des sciences, J. 1706 (S. 11) vergleichen. Betrachten wir die Abhandlung aber auch ganz abgesehen von der Sprache, so müssen wir gestehen, daß die Vermengung höchst bedeutender und folgenreicher Gedanken mit unwesentlichen Betrachtungen, unbegründeten Hypothesen und einer Menge — wenigstens für uns — völlig gleichgültiger Notizen nicht eben geeignet ist, ihr in unsern Tagen aufmerksame Leser zu erwerben. Auch hier ist, wie so oft, ein Theil mehr als das Ganze. Soll die

Arbeit des großen Mannes — nicht etwa nur von Gelehrten, sondern im weiteren Kreise von Freunden der Geologie — richtig erkannt und gewürdigt werden, so darf man dies am sichersten von einer Hervorhebung jener Grundgedanken hoffen, welche in der Fortentwicklung der gesammten Naturwissenschaft sich mehr oder weniger bewährt haben. Von diesem Gesichtspunkte ausgehend hoffe ich, deren Freunden einen nicht unwillkommnen Dienst zu leisten, indem ich Leibnizens Ideen über die Bildung der Erdoberfläche in gedrängter Darstellung gebe, mich zwar möglichst treu an den Wortlaut des lateinischen Textes schließend, aber dabei vor Allem bemüht, die Gedanken des Verfassers in entsprechender Weise auszudrücken. Die specielle Anführung der von Leibniz hervorgehobenen Thatsachen durfte begreiflich nicht fehlen, da sie zeigt, welche spärliche Data der Erfahrung ihm genügten, die tiefsten Blicke in die Natur der wirkenden Kräfte zu thun. Dagegen wird es keiner Rechtfertigung bedürfen, daß ich fast nur die erste Hälfte der Abhandlung berücksichtigt habe, da in ihr das eigentliche System der Erdbildung vollständig enthalten ist; die zweite, wenn auch nicht ohne historisches Interesse für den Freund der Wissenschaft, beschränkt sich zu sehr auf die ziemlich dürftige Petrefactenkunde der Zeit Leibnizens, als daß sie für meinen oben ausgesprochenen Zweck besondere Beachtung verdient hätte.

So erscheint denn, was ich jener Absicht gemäß aus der Protogaea glaubte hervorheben zu müssen, auf folgende wenige Blätter zusammengedrängt.

Nach allgemeiner und unbezweifelter Annahme ist der Erdball in regelmäßiger Gestalt aus den Händen der Natur hervorgegangen und die Unebenheit seiner Oberfläche durch das

Hervorragen von Gebirgen erst später eingetreten. War die Erde anfänglich im flüssigen Zustande, so folgte daraus nothwendig ihre sphärische Gestaltung; nach allgemeinen Naturgesetzen entsteht aber das Feste aus dem Flüssigen durch dessen Erhärtung. Wir erkennen dies deutlich an den Einschlüssen fester Körper, an Krystallen in den Gängen der Gebirge, an den Resten von Pflanzen und Thieren, ja selbst an Producten menschlicher Kunst, im neugebildeten Gestein. Was wir daher gegenwärtig in fester Form erblicken, ist als solches später entstanden und muß ursprünglich flüssig gewesen sein. Jeder flüssige Zustand setzt aber eine innere Beweglichkeit und einen gewissen Wärmegrad voraus, so daß wir auf die Wärme als letzte Ursache dieses Zustandes der Materie hingewiesen werden.

Wir dürfen daher die Körper, welche die jetzige Oberfläche der Erde bilden, als durch Feuer- und Wassergewalt erzeugt betrachten. Was wir als festen Boden erblicken, war anfänglich wahrscheinlich im glühenden Zustande, dann vom Wasser bedeckt und erst später schieden sich die Elemente. Dieser Ansicht entsprechen nicht nur jene Hypothesen über die Entstehung der Planeten, nach welcher dieselben durch den Umschwung der glühenden Fixsternmassen gebildet sein sollen; nicht allein der weitverbreitete auf das Zeugniß der heiligen Schrift sich stützende Glaube an ein in den Tiefen der Erde verborgenes und dereinst aus denselben hervorbrechendes Feuer: sie wird auch durch die Wahrnehmung solcher Merkmale bestätigt, die wir als Spuren der frühesten Naturbildungen zu betrachten haben. Denn jede durch Schmelzung entstandene Schlacke ist eine Art Glas; der Schlacke aber mußte nothwendig jene Kruste gleichen, welche aus der geschmolzenen flüssigen Masse erhärtete. Daß nun die äußere Rinde unsers Erdballs, in welche allein wir einzudringen vermögen, von solcher Beschaffenheit ist, zeigt die Erfahrung zur

Genüge, da alle Erden und Steine im Feuer verglasen. Warum also sollten wir nicht jene glasartigen Felsmassen als durch Schmelzung hervorgegangen betrachten dürfen, wenn auch die ungeheure Gewalt des ursprünglichen Feuers die Wirkung unsrer Schmelzöfen in unvergleichlichem Maße übertroffen haben muß?

Aus solcher Entstehungsweise der Erdoberfläche erklärt sich nicht minder der Ursprung der salzhaltigen Meere. Denn wie erhitzte Körper nach ihrer Erkaltung Feuchtigkeit anziehen, darf man annehmen, daß die wässerigen Dünste, welche bei dem glühenden Zustande unsers Erdballs seine Atmosphäre bildeten, bei nachlassender Hitze sich verdichteten und endlich auf der erkalteten Oberfläche als Wasser sich niederschlugen, welches bei Abspülung derselben die salzigen Theile in sich aufnahm und so die ersten Meere bildete. Ferner ist es sehr glaublich, daß in der durch Erkältung sich zusammenziehenden Erdrinde — wie wir es im Kleinen bei der Schmelzung von Metallen und andern Körpern wahrnehmen — große Blasen entstanden, Höhlungen, in denen Luft und Feuchtigkeit eingeschlossen waren; daß die Massen, nach Verschiedenheit der Materie und der Hitzegrade ungleichförmig sich ablagernd, hie und da auseinander gesprengt wurden und mit ihren Trümmern Thalabhänge bildeten, während die festeren Theile gleich Säulen in die Lüfte sich erhoben. So gestalteten sich denn schon damals Gebirge. Dabei höhlten die Gewässer durch ihr Gewicht sich ein Bett in dem noch weichen Grunde. Und durch diese vereinten Einwirkungen — den Druck der Massen, die Zersprengung der Erdrinde durch innere Gluth, ihre Zertrümmerung durch die in Höhlungen eingeschlossenen Wasserdämpfe, darauf folgende ungeheure Ueberschwemmungen, welche neue Niederschläge bildeten, so daß fortwährend andere Schichten sich ablagerten — wurde die Gestalt der noch sehr bildsamen Erdoberfläche zu wiederholten Malen erneuet. Erst als Ruhe und Gleichgewicht unter jenen Kräften eintrat, bildete

sich ein mehr dauernder Zustand der Dinge. Hieraus folgt, daß die festen Theile der Erdrinde zwiefachen Ursprungs sind, nämlich einestheils hervorgegangen aus der Erstarrung geschmolzener Massen, anderntheils aus dem Niederschlage der Gewässer. Man darf daher keineswegs glauben, daß die Steine nur auf dem Wege der Schmelzung entstanden seien. Dies nehme ich vorzugsweise in Beziehung auf den frühesten Zustand der Erde an, zweifle aber nicht, daß späterhin die Materie sich im wässerigen Zustande über die Erdoberfläche verbreitet und in Form der verschiedenen Erd- und Gebirgsarten niedergeschlagen habe; diese verhärteten zum Theil zu Felsmassen, deren aufeinanderliegende Schichten uns den Wechsel und die Bildungsperioden der verschiedenen Niederschläge bezeugen.

Die vorstehende Ansicht über die erste Gestaltung der Erdoberfläche, worin die Keime einer neuen Wissenschaft enthalten liegen, die ich natürliche Geographie nennen möchte, tritt indessen nur als ein Erklärungsversuch, nicht als Behauptung auf. Das Urtheil über ihren Werth bleibt denen überlassen, die ein Recht darüber zu urtheilen haben. Denn wie klar uns auch Spuren der alten Welt in der jetzigen Gestaltung der Dinge vorliegen, so werden doch spätere Geschlechter Alles richtiger auffassen, wenn es erst dem Forschungsgeiste gelungen, die Beschaffenheit und Schichtung des Bodens durch größere Strecken zu verfolgen. Nicht alle Unebenheiten der Erdoberfläche möchte ich aber ihrer ursprünglichen Bildung zuschreiben. Es reicht hin, auf jene ersten Ursachen gewissermaßen das Knochengerüst der äußeren Erde und ihre Structur im Ganzen zurückgeführt zu haben; damit verträgt sich aber sehr wohl, daß nach Bildung der festen Rinde, kleinere Ausbrüche, Erdbeben, Ueberschwemmungen und Ablagerungen erfolgten, wodurch oft weite Strecken eine Umwandlung erfuhren. Unzweifelhaft entstanden Meerengen durch den gewaltsamen Durchbruch der Ge-

wässer; Festland sank in die Tiefe oder wurde zum Sumpfe; bald überschwemmte die Fluth das Gestade, bald trat sie zurück; Bergtrümmer senkten sich thalwärts und füllten die Schluchten, so daß der Lauf der Gewässer gehemmt ward, die abwechselnd Seen bildeten oder Thäler aushöhlten; flammensprühende Berge stiegen empor und verschwanden, und weithin zerstreut lagen die Spuren des Brandes. Welche von diesen gewaltsamen Erscheinungen aber zufälligen und welche allgemeinen Ursachen beizumessen seien, das kann erst mit größerer Sicherheit die Nachwelt entscheiden, nachdem der Wohnsitz des Menschengeschlechtes besser erforscht sein wird.

So wie wir den ganzen Erdkörper uns anfänglich im glühenden Zustande denken, müssen wir ihn später vom Wasser überfluthet annehmen. Es stimmt dies nicht nur mit dem Zeugniß der heiligen Schriften, sondern auch mit den Erzählungen der alten Völker überein; aber auch abgesehen davon bezeugen die Spuren des Meeres mitten auf dem Festlande die Thatsache. Denn Muscheln werden auf Bergen gefunden, und Bernstein, den man am Strande aufzulesen pflegt, ist weit vom Meere entfernt ausgegraben worden. Da drängt sich uns denn die Frage auf: woher eine solche die Gebirge überfluthende Wassermasse gekommen und wohin sie verlaufen sein möge, um trockenes Land hervortreten zu lassen? Einige suchen die Ursache in einer Veränderung des Schwerpunkts der Erde, Andere in der anziehenden Kraft eines großen magnetischen Erdkerns, welches beides jedoch gleich wenig wahrscheinlich ist. Leichter läßt sich begreifen, wo die überflüssige Wassermenge blieb: denn sie konnte durch gewaltsam gebahnte Oeffnungen sich in ungeheure Höhlungen ergießen und in das Innere der Erde eindringen, da eine Wasserschicht von vier Meilen Höhe über den jetzigen Meeresspiegel nur etwa den siebenzigsten Theil des Raums füllen würde, den die Erdkugel einnimmt. Nichts

hindert uns daher anzunehmen, daß das gegenwärtige Festland einst aus der Fluth emporgetaucht sei, oder daß, wenn höhere Gegenden vorhanden waren, die Menschen von diesen in niedere Wohnsitze hinabstiegen, wozu vielleicht auch die Kälte sie zwang, da sie mit dem Zurückweichen des Meeres gleichsam in eine höhere Region emporgehoben schienen, wo die Temperatur nicht wie früher von Dünsten gemildert ward. Aber wenn dann das Wasser auf der schon festgewordenen Erdkugel in einer Fluth bis zu den höchsten Berggipfeln hinanstieg, so müssen wir für diese Erscheinung einen andern Erklärungsgrund herbeiholen. Regengüsse reichen dazu nicht hin, wenn nicht die Luft damals viel wasserhaltiger war als jetzt. Daß der Ocean, durch eine aus dem Innern der Erde hervorbrechende Kraft rings emporgehoben sei, ist wenig glaublich; daß er zugleich aufgeschwollen mit der unter ihm ruhenden Oberfläche, würde vielmehr der früheren Schmelzungsperiode entsprechen, als die Massen noch weich und zähe waren; für die Zeit der harten nnd zerbrechlichen Erdrinde paßt diese Annahme nicht. In äußeren Ursachen, wie etwa in einem Vorübergange von Cometen oder der größeren Nähe des Mondes, wodurch die Wasser in Folge verstärkter Anziehung gestiegen wären, möchte ich eben so wenig die Erklärung suchen, wie in einer Veränderung der Richtung der Schwere. Am nächsten liegt die Annahme, daß da, wo die äußere Wölbung der Erdrinde durch allzu schwache Stützen getragen ward, ungeheure Massen in das vorher eingeschlossene Meer hinabstürzten. So stiegen die aus den Höhlungen hervorgedrängten Wasser bis über die Berge empor, bis sie — wenn sie einen neuen Zugang zur Unterwelt fanden und die Riegel zu noch tiefer liegenden Klausen der Erde zerbrachen — aufs Neue von dem Boden zurückwichen, den wir jetzt als Festland erblicken. Wenn also das Wasser die Erdrinde seit ihrer ersten Bildung einmal bedeckte, so reicht eine Wöl=

bung derselben hin; wenn es die Berge aufs neue überfluthete, so war sie zweimal gewölbt: die äußere Höhlung enthielt Wasser, die innere Dünste. Wurde die erste zerbrochen, so stieg die Fluth die Berge hinan; beim Durchbruch der zweiten hingegen drang sie in das Innere ein und bereitete den Erdbewohnern wiederum einen trockenen Boden.

Wenden wir uns zur Betrachtung der sogenannten Gänge, d. h. jener Risse und ausgedehnten Spalten im Innern der Gebirge, worin besondere Arten von erdigen und metallischen Gesteinen die Wände bekleiden, so haben wir solche von ringsbegränzter Gestalt (schwebende Gänge) und andere, die sich ins Unbegränzte verlieren (fallende Gänge) zu unterscheiden. Nun erscheint es aber sehr glaublich, daß viele jener Schichten, welche anfänglich wagerecht lagen, als noch die gewölbte Erdrinde in ihrer Festigkeit beharrte, bei späterer Zerstörung derselben in eine geneigte Lage geriethen. Denn was ist natürlicher, als daß bei der Bildung der Erdrinde aus dem flüssigen Zustande — sei es bei der ersten Gestaltung derselben oder bei den späteren Niederschlägen aus großen Ueberschwemmungen — die Theile nach dem Gesetz der Schwere ihre Stelle einnahmen und sich in horizontalen Schichten ablagerten, deren Gleichförmigkeit erst später gewaltige Kräfte durch Zerbrechung des Fundaments störten? Eine solche Annahme wird auch durch den Augenschein bestätigt. An den Küsten Norwegens erblickt man an den hervortretenden und senkrecht abgeschnittenen Felsen Streifen, in denen jene Schichten sich endigen. Hier und da zeigen ferner zu beiden Seiten eines Thales, das durch die Gewalt der Wasser oder durch eine andere Naturkraft gebrochen oder ausgehöhlt wurde, die gegenüberstehenden Bergwände verschiedenfarbige Schichtenlagen in gleicher Folge. So wurde bei Osterode am Harz die Fortsetzung eines im Thonschiefer aufgeschlossenen schwebenden Ganges auf der entgegen-

stehenden Seite des Thales wahrgenommen. Wir sehen, wie die Gänge durch Verzweigung abnehmen, durch Zusammenlaufen hingegen sich erweitern und zuweilen in dem Knotenpunkte ihrer Vereinigung große Anhäufungen von Erzen (einen sogenannten Stock) bilden, wie dies im Rammelsberge bei Goslar der Fall ist. Oft hat man auch wahrgenommen, daß unmittelbar neben einem reichen Gehalte von Metallen die Gänge arm daran werden, gleich als wären einst die Vorräthe durch Feuer- oder Wassergewalt auf einen Punkt zusammengeflossen, wie z. B. bei St. Andreasberg. Sehr häufig entsprechen auch die unterirdischen Erzgänge dem Laufe der Thäler und Bäche, wie dies z. B. bei dem Zell-Bache am Harze der Fall ist. Hiernach darf man muthmaßen, daß Spalten der Erdrinde, oberhalb zu Thälern erweitert, in Gestalt fallender Gänge in die Tiefe hinabstiegen und später durch metallisches Gestein oder andere Mineralien auf dem Wege der Schmelzung durch Feuer oder der Einspülung durch Wasser gefüllt wurden. Doch hat man sich die Bildung der Gänge nicht etwa so vorzustellen, als ob durch jeden Bruch der schon festgewordenen Erdrinde ein Gang entstanden sei. Vielmehr bildeten sich schon bei ihrem Erstarren jene Risse, wie wir daran erkennen, daß die Gänge nach beiden Seiten sich in die engsten Felsspalten verästeln, so wie in Thieren und Pflanzen die größeren Gefäße in kleine, endlich kaum mehr wahrnehmbare Fäden verlaufen.

Sehr der Mühe werth wäre es unstreitig, die Erzeugnisse der Natur, wie die Mineralien sie uns darbieten, sorgfältig mit denen unsrer chemischen Laboratorien zu vergleichen, da oft eine auffallende Aehnlichkeit in beiden hervortritt. Denn wenn die reiche Schöpferin der Dinge auch mehrere Ursachen für die nämliche Erscheinung in ihrer Gewalt hat, so zeigt sie sich doch auch in der Mannigfaltigkeit beständig.

Und viel ist schon für die Erkenntniß gewonnen, wenn man sich auch nur von einem Bildungswege Rechenschaft geben kann, so wie die Mathematiker aus einer einzigen Weise, eine Figur zu beschreiben, deren sämmtliche Eigenschaften ableiten. Ueberdies wird man verwandten Körpern um so sicherer denselben Ursprung zuschreiben dürfen, wo man sich der nämlichen Stoffe und Mittel bedient, wie die Natur. Denn was ist diese anders als eine Kunst im höchsten Sinne des Worts? Und was liegt daran, ob irgend ein vulkanischer Dädalus denselben Körper im Ofen erzeuge, oder ob er als Mineral aus den Eingeweiden der Erde ans Licht komme? Wenn ich auch über die Erzeugung der Metalle durch Kunst keine Behauptuug wagen mag, so glaube ich doch, daß es nicht minder unwahrscheinlich sei, die Natur bei der eigentlichen Bildung dieser Körper zu überraschen: sie wird sich damit begnügen, die schon längst vorhandenen Metalle zu sammeln und so uns darzubieten. Damit will ich jedoch nicht leugnen, daß es Gruben gebe, in denen neue Erze sich bilden und die Räume erfüllen, wie dies im Laufe der Zeiten im Rammelsberge bei Goslar geschehen ist: aber dort lagern vitriolhaltige Wasser, welche metallische Stoffe mit sich führen, diese ab und erzeugen nicht sowohl Blei und Kupfer, als daß sie diese Metalle vielmehr herbeiführen. In solcher Weise werden freilich Mineralien noch täglich von der Kunst wie von der Natur hervorgebracht; ich erkenne darin indessen nur neue Gestaltungen der einfachen ursprünglichen Elemente, welche eben so wenig zerstört als neu erzeugt werden. Da nun aber solche Umwandlungen der Körper vielmehr in ihrer Beschaffenheit als in ihrer eigentlichen Substanz eintreten, so ist es nicht zu verwundern, daß so mancherlei übereinstimmende Producte aus Laboratorien und Bergwerken hervorgehen. So finden wir natürlichen Zinnober in den Quecksilbergruben von Idria, während die Kunst

ihn bekanntlich aus Quecksilber und Schwefel bereitet, und dasselbe gilt von der Verbindung des letztern mit Antimonium. Bei Langelsheim in der Nähe von Goslar wird ein Erz geschmolzen, welches Blei und Kupfer liefert: dabei bemerkt man zwei merkwürdige Nachbildungen der Natur, nämlich Zink und Galmei. Jenes verflüchtigt sich und legt sich an die Wände des Ofens; andere Dämpfe überziehen dieselben langsamer mit einer Kruste, deren früher weggeworfene Bruchstücke gegenwärtig als Galmei angewendet werden und in Verbindung mit dem Kupfer jene goldfarbige Mischung geben, die wir Messing nennen. Daß ebenfalls ein dem Amianth ähnlicher unverbrennlicher Körper durch Schmelzung Goslarscher Erze entstehe, erwähnt schon Georg Agricola. Solche Thatsachen aber sind ganz geeignet, unsre Muthmaßung zu rechtfertigen, daß was wir als ein Spiel im Kleinen treiben, von der Natur, welcher Berge zu Destillirapparaten, Vulcane zu Oefen dienen, im großen Maßstabe ausgeführt werde.

Aus dem Auripigment kann man durch Hülfe des Feuers eine Art von Rubin erzeugen, welche freilich nicht die Härte des ächten besitzt; ich möchte daher bezweifeln, daß die herrschende Ansicht, welche die Entstehung der Edelsteine dem Wasser zuschreibt, die richtige sei. Gewiß hatten diejenigen, welche für einzelne Mineralien den Namen Fluß gebrauchten, dabei eine Schmelzung im Sinne. Und wenn auch im Wasser aufgelöste Materien, indem sie bei der Erkaltung krystallisiren, regelmäßige Gestalten annehmen, so giebt es doch andre Körper, welche nicht sowohl vom Wasser als vielmehr vom Feuer aufgelöst werden und nicht nur aus dem tropfbar flüssigen sondern auch aus dem dampfförmigen Zustande in feste geometrische Gestalten übergehen. Die Bergkrystalle werden, eben so wie Diamanten und andre edle Gesteine, in Höhlungen der Felsen und in sogenannten Drusen gefunden, während man bei

Golconda die trefflichsten Diamanten in Sand und Kies zerstreuet antrifft. Ob aber das Feuer, ob das Wasser jene Mineralien gebildet habe, darüber kann im Allgemeinen noch nichts entschieden werden, denn die Kunst bringt auf jedem dieser Wege Nachahmungen hervor. Auch möchte ich nicht in Abrede stellen, daß ganz eben so, wie Alaun und Vitriol in einem Gefäße krystallisiren, nachdem ein Theil der Flüssigkeit verdampft ist, auch eine Menge fester Gesteine sich bildeten, als die Erdoberfläche aus dem Zustande einer allgemeinen Ueberfluthung — indem die Wärme abnahm — mehr und mehr zu dem der Festigkeit zurückkehrte.

Aber auch von Sublimationen giebt uns die Natur eben sowohl als die Kunst Proben. Mit Recht sagt man von Ammoniak, es sei ein flüchtiges Mineralsalz, der Genosse des Schwefels, gleich dem es ebenfalls durch unterirdische Hitze emporgetrieben wird. Von Gold, Silber und andern gediegen vorkommenden Metallen muß man sehr geneigt sein anzunehmen, daß sie nur der Gewalt des Feuers ihre Gestaltung verdanken. Ich entsinne mich, daß mir einige frisch in der Grube gefundene Stückchen Silber gebracht wurden, bei deren Anblick man hätte schwören mögen, daß sie so eben durch Schmelzung gebildet worden seien. Täuscht uns aber die Natur auf solche Weise, so geschieht es auf der andern Seite noch viel mehr, daß verschlagene Mineralienhändler seltnere Formen, wie Rothgiltigerz, Silberglanz und haarförmiges Silber im Ofen produciren, um Sammler damit zu betrügen; sie nützen aber durch solchen Betrug, indem sie die Kunst der Natur lehren, deren Wirkungen sie darstellen.

Indessen muß man zugestehen, daß einige Mineralkörper ihre Gestalt lediglich der Fortbewegung der Gewässer verdanken, und es durchaus nicht nöthig ist, die Wärme als Erklärungsgrund für jene Formen zu Hülfe zu nehmen, während

bei andern beide Ursachen geltend zu machen sind. Der durch stetes Fortrollen in den Betten der Waldbäche abgerundeten Kiesel gar nicht einmal zu gedenken, darf man annehmen, daß metallische Körner die ähnliche Form ebenfalls auf solchem Wege durch Abreibung angenommen haben. Hin und wieder erblickt man in Felswänden geglättete Kiesel von der Natur zusammengekittet, — ein redender Beweis, daß sie nach langer Abreibung durch tägliches Fortwälzen im Wasser von einem erhärtenden Bindemittel aufgenommen und später durch neue Zertrümmerungen aufgedeckt worden. Wir sehen zugleich daraus, daß daselbst oder an noch höher liegenden Orten einst eine Strömung müsse Statt gefunden haben, welche bei späterer Veränderung der Erdoberfläche abgeleitet wurde.

Aber auch im ruhenden Wasser bildet sich Gestein in regelmäßiger Form, indem sich die in der Flüssigkeit schwimmenden Stoffe an einen Halm oder sonst sich ihnen darbietenden Gegenstand anhängen, so daß der festwerdende Körper immer mehr und mehr an Umfang zunimmt. Hieran schließt sich die Bildung des Tuffsteins durch herabtröpfelndes Wasser in mehreren Höhlen, zu denen u. a. die Baumannshöhle am Harze gehört, deren ungeheure Wände und Säulenmassen gleichsam tropfenweise gebildet sind. Man pflegt das Gestein, welches nur eine weichere Art Kalkspath zu sein scheint und das Ansehen von Eiszapfen hat, daher auch Tropfstein zu nennen. In seinem Innern nimmt man bei genauerer Betrachtung oft kleine Höhlungen (sogenannte Drusenräume) wahr, deren Flächen mit diamantartig glänzenden Krystallen bekleidet sind. Nicht unwahrscheinlich hat dieselbe Ursache, welcher diese Räume im Innern des Felsens ihre Entstehung verdanken, auch jene großen Höhlen im Gebirge hervorgebracht.

Oft ist die vereinte Wirkung der Hitze und des Wassers bei der Bildung von Mineralkörpern anzunehmen, oft aber

durchaus zweifelhaft, welcher von beiden Ursachen wir die Bildung derselben zuschreiben dürfen. Denn wir wissen, daß in einigen Fällen Metalle nicht in Form eines Pulvers sondern im gediegenen Zustande aus ihren Auflösungen gefällt werden und dann fast wie durch Schmelzung gebildet erscheinen können. Somit ist es höchst bedenklich, bloß aus dem äußern Ansehen eines solchen Körpers über seine Entstehungsart urtheilen zu wollen. Es bedarf vielmehr der sorgfältigsten Untersuchung, um zu entscheiden, was dem Wasser allein, was der Wärme, und was beiden in Gemeinschaft zuzuschreiben sei; ob auf trocknem Wege eine Schmelzung oder Verflüchtigung, oder ob vielmehr durch Vermittlung einer auflösenden Flüssigkeit eine Präcipitation oder Krystallisation Statt gefunden; in welchen Fällen die Krystallbildung durch Sublimation, die Schmelzung durch Niederschlag vertreten genannt werden darf.

Vor Allem möchte ich zu mehrerer Verdeutlichung der hier entwickelten Ansichten auf jene Fischabdrücke im Kupferschiefer bei Eisleben wie bei Osterode hinweisen, worin Flossen und Schuppen auf das Vollkommenste ausgedrückt erscheinen und die in großer Häufigkeit an der nämlichen Stelle gefunden werden. Sollte man nicht sagen, daß ein großer See mit seinen Fischen durch ein Erdbeben, hereinbrechende Fluthen oder irgend eine andere mächtige Naturgewalt von Erdmassen überschüttet sei, welche — zu Stein verhärtet — die Spuren der Fische aufbewahrten, die sich in der weichen Masse abdrückten und deren Stelle später von einer metallischen Materie ausgefüllt wurde? Doch will ich nicht darüber streiten, welche Ursache jene Erde in Schiefer umbildete und metallische Theile in die entstandenen Höhlungen führte. Möglich, daß gleichwie in Oefen durch menschliche Kunst aus Thonerde Steine geformt werden, eine große natürliche Feuerquelle nach Verschiedenheit der Erdarten bald Thonschiefer, bald Gyps oder andere Felsarten bereitete, wäh-

rend metallische Stoffe, die in der ganzen Masse verbreitet waren, durch die Hitze ausgetrieben, sich in den Räumen sammelten, welche die Körper der Fische — durch die Zeit oder durch die Hitze verzehrt — gelassen hatten. Etwas Aehnliches nehmen wir bei den Goldarbeitern wahr. Denn gern vergleiche ich die verborgene Thätigkeit der Natur mit den offenkundigen Arbeiten der Menschen. Jene umgeben nämlich ein Thierchen mit einer geeigneten Masse, indem sie nur einen kleinen Zugang lassen, brennen diese Masse zu Stein, treiben durch Quecksilber die verbrannten thierischen Reste aus und gießen dann Silber in jene Oeffnung, wodurch das Thier — nachdem man die Hülle abgelöst — mit bewunderungswerther Genauigkeit abgeformt erscheint.

Man darf sich aber in der That nicht darüber wundern, daß die Hitze Erden zu Stein verhärtet, metallische Massen geschmolzen, die einen Stoffe verflüchtigt, die andern bei ihrem Nachlassen aus der Auflösung in krystallinischer Form niedergeschlagen haben solle, da nicht nur die meisten Naturkundigen glauben, daß im Innern des Erdballs, dessen Rinde kaum erforscht worden ist, eine feurige Masse eingeschlossen sei, sondern auch gewaltige Erdbeben uns Kunde von Canälen eines unterirdischen Feuers geben und mächtige Vulcane weithin ihre Flammensäulen leuchten lassen. Auch erscheint es nicht ungereimt, vereinzelte Feuerwirkungen noch nach der großen Fluth anzunehmen, als verbrennliche Stoffe im reicheren Maße über die Erde verbreitet waren. Sagt doch schon Agricola mit Recht, daß Bimsstein nicht nur in Sicilien und Campanien, sondern auch auf deutschem Boden gefunden werde und fließen doch auch bei uns, z. B. in der Gegend von Burgdorf, Quellen flüssigen Erdtheers.

Aus diesem Allen geht nun hervor, daß in unsern Gegenden eine zwiefache Gestaltung der Erdrinde Statt gefunden haben

müsse: die eine, als sie voll fischreicher See'n war; die andre, als sie — von einer ungeheuern weichen Masse überschüttet — sei's durch Gewalt des Feuers, sei's durch den Einfluß der Zeit — sich in verschiedene Lagen sonderte, worüber dann Felsmassen sich lagerten, die endlich von jenem schwärzlichen Erdboden bedeckt wurden, den gegenwärtig Menschen bewohnen und bebauen. Und wollen wir auch annehmen, daß jene See'n vor ihrer Verschüttung unterirdische waren, so muß doch die damalige äußere Erdrinde völlig durcheinander geworfen und umgewandelt sein.

Im Bau des Festlandes können wir drei Abstufungen gelten lassen: die höchsten Gebirge, das mittlere Berg- und Hügelland und die Küstengegenden am Meer. Angenommen, dieses habe einst die Gipfel der Gebirge erreicht, so kann man sich vorstellen, daß nach Durchbrechung der festen Decke der weiche Meeresboden sammt den darin befindlichen Conchylien abwärts geflossen, in den mittleren Regionen abgelagert und endlich zu Gestein geworden sei, während das Wasser die tiefsten Gegenden aufsuchte. Leicht konnte es dabei geschehen, daß das irgendwo aufgefangene salzhaltige Wasser in Höhlen stehen blieb, wo es — wie in den Gruben von Galizien — durch Verdunstung Steinsalz bildete oder den Erdboden mit Salz schwängerte, wie in den Tyroler Alpen. Nicht anders wird man die Entstehung unsrer Soolquellen zu erklären haben, die aus solchem salzführenden Gestein hervorgehen. Auch deuten auf jenen Meeresursprung die bei den Lüneburger Salzwerken ausgegrabenen Haifischzähne hin.

Was die Vermuthung betrifft, daß durch Aufschwellen der Erde, veranlaßt durch die Gewalt eingeschlossener Luftarten, die Berge aus der Ebene emporgestiegen seien, so gebe ich gern zu, daß eine solche Anschwellung anfangs, als die Masse des Erdkörpers noch flüssig war, Statt gefunden, und bei der darauf folgenden Erhärtung die ursprüngliche

Unebenheit derselben bewirkt habe; auch stelle ich nicht in Abrede, daß selbst nach Bildung der festen Erdrinde hin und wieder durch Erdbeben oder vulcanische Ausbrüche Berge von mäßiger Höhe entstanden sein mögen. Daß aber die ungeheuern Alpen mit Durchbrechung der bereits erstarrten Erdoberfläche emporgestiegen seien, finde ich nicht recht glaublich. Da man indessen frühere Meeresbildungen auf ihnen antrifft und dadurch zu irgend einer Hypothese genöthigt wird, so halte ich es für wahrscheinlicher, daß die Wassermasse rasch abgeflossen, als daß ein so beträchtlicher Landstrich durch eine unglaubliche Naturgewalt zu solcher Höhe emporgehoben sei.

Es bleibt mir aber noch einiges über jene bedeutenden Veränderungen in der Beschaffenheit der Erdoberfläche zu sagen, welche späteren Zeiten angehören. Nur beiläufig will ich daran erinnern, wie Aegypten dem Nil, das Arelatische Gebiet der Rhone, Holland dem Rhein ihre Entstehung verdanken sollen. So viel ist gewiß, daß alle jene Ströme, welche den Küstenländern Erdreich zuführen, die höher liegenden Gegenden desselben berauben, wie denn z. B. die Friesen in solcher Weise sich täglich auf unsre Unkosten bereichern. — Auf eine bemerkenswerthe Art hat die Weser ihren früheren Lauf in der Gegend von Minden verändert, denn der aufgefundene Anker eines großen Seeschiffs bezeugt, daß sie dort sich einst in das sumpfige Bette eines bis dahin reichenden Meeres ergossen habe. Erst nach Durchbrechung des Gebirgs hat sie — wie eine alte Mindener Chronik aussagt, der Augenschein es aber noch viel überzeugender bestätigt — ihren Lauf weiter zur Rechten genommen. Ist es doch selbst in unsern Tagen nichts Ungewöhnliches, daß der Ocean über das Festland hereinbricht oder weiter von demselben zurückweicht und dadurch neue Gestaltungen der Küsten veranlaßt. Ich darf nur an die Ueberschwemmung Nordstrands in Holstein oder an die der Niederlande

im vorigen Jahrhundert erinnern, wo der Ocean ein altes Recht schien in Anspruch nehmen zu wollen. Ein noch viel näher liegendes Beispiel bietet der Steinhuder See in unsrer Gegend zwischen Leine und Weser als ein Zeichen, daß sumpfige Meeresuntiefen sich einst vom Ocean bis zu unsrer Stadt erstreckt haben mögen.

Nicht minder nehmen wir Veränderungen solcher Art in der Lombardei und der Gegend von Venedig wahr. Diese Inselstadt, so wie die Stadt Vannes in Frankreich,*) verdanken den Ursprung ihrer Namen wahrscheinlich dem Worte Veen, welches noch heutzutage in Niedersachsen, Holland, England und Dänemark soviel als Moor bedeutet. Wir wissen, daß ein großer Theil der Küstengegenden am Adriatischen Meere einst von der Fluth bedeckt oder sumpfiger Boden war, und welche Veränderungen die Zeit dort herbeigeführt, zeigt der gegenwärtige Zustand den Aussagen der Geschichte gegenüber. Dahin gehört ebenfalls die Auffindung eines Ankers bei der Grundsteinlegung des St. Helenenklosters zu Padua, so wie mehrerer Schiffsmasten an andern Orten der Stadt; ein Umstand, der es wahrscheinlich macht, daß einst die Meeresfläche bis zu den Euganeischen Bergen reichte. Strabo schildert die Lage von Ravenna, wie man heutzutage die von Venedig schildern würde; ja selbst Cassiodor, der für den König Theoderich schrieb, beschreibt sie noch so. Als das weströmische Reich sich zu seinem Ende neigte, war dort die Hauptstation der römischen Flotte. Jetzt hat sich längst das Meer aus den angefüllten Buchten zurückgezogen, und gleiches Schicksal befürchten die Venetianer von dem Einfluß der Zeit. Vielleicht daß gerade die Mittel, welche sie, in Hoffnung die Gewalt der Fluthen zu

*) Oder Vennes, gegenwärtig die Hauptstadt des Departements Morbihan, an der südwestlichen Küste der Bretagne.

brechen, angewandt haben, das Uebel nur um so schneller herbeiführen. Ist man doch in der Kunst, dem Wasser zu wehren, dahin gelangt, daß man hin und wieder Landstrecken tiefer als die Meeresfläche und Wiesen unter dem Spiegel des eingedämmten Flusses erblickt. So hat das Menschengeschlecht selbst in nicht geringem Maße dazu beigetragen, in der Gestalt der Erdoberfläche merkliche Veränderungen zu veranlassen.

An manchen Orten trifft man verschüttete Bäume und fossiles Holz, ebenfalls als Zeugen einer späteren Bildungsperiode; so finden sich z. B. unter dem Torf, welcher unweit Hannover und Celle als Brennmaterial gegraben wird, hin und wieder alte Baumstämme. Dieser Torf ist aber eine Anhäufung vegetabilischer Stoffe, vielleicht von Moos, Gräsern, Wurzeln und Rohr, auf sumpfigem Boden erzeugt und im Verlaufe der Zeit innig durch einander verwachsen. Ich möchte ihn für ein Erzeugniß wiederholter Ueberschwemmungen halten. Auf dem vom Wasser verlassenen halb trocken gelegten Boden wuchs eine Decke von Haidekraut; nun folgte eine neue Ueberschwemmung, ein neuer Niederschlag von Schlamm und auf diesem eine frische Vegetation, bis endlich nach vieljährigem Wechsel die brennbare Schicht zu der gegenwärtigen Dicke angewachsen war.

So weit die Mittheilungen der Aussprüche Leibnizens. Denn was er im übrigen Verlaufe der Abhandlung außer der Schilderung sorgfältig gesammelter Petrefacten noch über die Bildung der Quellen und manches andere vorbringt, ist von relativ geringerem Interesse, wenn es gleich nicht minder von dem scharfen und umfassenden Blicke des großen Denkers zeugt, der begierig alle Thatsachen sammelt, die ihm Aufklärung über die Bildung der Erdoberfläche zu versprechen scheinen.

In dem nämlichen Jahre, als die Protogaea in Deutschland vollständig durch den Druck veröffentlicht wurde, erschien in Frankreich Büffon's mit glänzender Beredsamkeit geschriebene und vielgelesene Théorie de la terre, welche in manchen Beziehungen so sehr mit den von Leibniz ausgesprochenen Ansichten übereinstimmt, daß man schwerlich irrt, wenn man deren (im J. 1693 publicirter) Skizze einen sehr wesentlichen Einfluß auf die Ideen des französischen Naturforschers zuschreibt.*) Noch sichtbarer wird dies aus den später von ihm herausgegebenen „Epoques de la nature," wo er — um den vierten seiner empirischen Grundsätze zu erhärten, daß die Erde hauptsächlich aus glasartigen Materien bestehe — ausdrücklich auf die betreffende Stelle in Leibniz (inzwischen vollständig herausgegebener) Protogaea verweist.

Auch in Anderer als Büffon's Schriften fand die von Leibniz ausgestreuete Gedankensaat einen fruchtbaren Boden; aber immer mehr scheint sich im Laufe der Zeit die Erinnerung an ihren Ursprung zu verlieren, vielleicht nur aus dem einfachen Grunde, weil bei wachsender Ausdehnung der empirischen Forschung auch für geologische Betrachtungen die Autorität der Natur immer entschiedener an die Stelle der Autorität eines berühmten Namens trat. So ist schon für Cüvier das Leibnizische System so völlig zur unbrauchbaren Reliquie einer veralteten Speculation geworden, daß er es (in seiner Geschichte der Fortschritte der Naturwissenschaften) mit denen eines Woodward, Whiston, Burnet und Scheuchzer zusammenwirft, was uns freilich zu der Vermuthung berechtigt, daß er selbst es nicht der Mühe werth geachtet habe, die Protogaea zu lesen.

*) Indem er derselben erwähnt, sagt Büffon (S. 195 a. a. O.) Quoique ces pensées soient denuées de preuves, elles sont élevées et on sent bien qu'elles sont le produit des méditations d'un grand génie.

Einer besondern Anerkennung hat dieselbe dagegen in der neuesten Zeit sich in England zu erfreuen gehabt, wo von mehreren namhaften Gelehrten auf ihren schätzbaren Inhalt hingewiesen wird. Ich nenne zunächst Ch. Lyell, der in seinem Lehrbuche der Geologie sie als eine der bedeutendsten und beachtungswerthesten Schriften früherer Zeit hervorhebt. In einer noch viel entschiedeneren Weise geschieht dies indessen von Conybeare in seinem „Berichte über Geologie an die brittische Gesellschaft für Förderung der Wissenschaften (1832)," wo er versichert, es würde selbst in unsern Tagen schwierig sein, die Principien der plutonischen Theorie, welche man doch gegenwärtig fast ohne Widerspruch als die gültige ansehe, klarer darzustellen, als Leibnizens universelles Genie dieses schon in seiner Protogaea gethan habe, worauf er eine Skizze ihres wesentlichen Inhalts entwirft und hinzufügt: „Durch den Nachweis eines doppelten Ursprungs der Felsarten, indem sie einerseits aus geschmolzenem Zustande erkalteten, anderentheils aus wässerigen Auflösungen sich niederschlugen, ist hier die große Grundlage jeder wissenschaftlichen Eintheilung der Gebirgsarten festgestellt."

Noch an einem andern Orte, wo ihre Erwähnung besonders ehrenvoll erscheint, finden wir der Protogaea in einem englischen Werke neuester Zeit gedacht: ich meine Hallams Introduction to the Literature of Europe in the 15. 16. and 17. Centuries. Nachdem der Verfasser über die geologischen Schriften von Ray, Burnet und Whiston berichtet, wendet er sich (T. III. Pag. 338) zu Leibnizens Abhandlung, die er „an glücklichen Conjecturen wie an sorgfältiger Beachtung der Thatsachen jenen bei weitem überlegen" nennt. Beim Eingehen auf ihren Inhalt bezeichnet er mit Recht denjenigen Theil, welcher die Bildung und den Rückzug der Gewässer behandelt, als den schwächsten derselben, erkennt aber an, daß sie übrigens einen Schatz von Vorstellungen enthalte, welche der Fortschritt der Wissenschaft

nur zur Reife gebracht habe. „Niemand, fährt er fort, kann die Protogaea lesen, ohne wahrzunehmen, daß von allen früheren Geologen bis zu einem nicht fern liegenden Zeitpuncte Leibniz den heutzutage geltenden Theorien am nächsten gekommen ist.“

In der That braucht man, um sich von der Wahrheit dieser Behauptung zu überzeugen, dem in den vorstehenden Blättern mitgetheilten Auszuge der Protogaea nur die wenigen Zeilen gegenüberzustellen, mit denen Buckland (im Eingang zum 10. Cap. seiner populären Geologie) eine summarische Uebersicht der fünf Hauptursachen giebt, welche den gegenwärtigen Zustand unsrer Erdoberfläche bewirkten. Dieselben sind nach ihm nämlich: Erstens, der Uebergang der ungeschichteten krystallinischen Gebirgsarten vom flüssigen (geschmolzenen) zum festen Zustande. — Zweitens, die Absetzung geschichteter Gebirgsarten auf dem Grunde der alten Meere. — Drittens, die Erhebung sowohl der geschichteten als der ungeschichteten Gebirgsarten aus dem Meere in aufeinanderfolgenden Zwischenräumen, um Festländer und Inseln zu bilden. — Viertens, gewaltsame Ueberschwemmungen im Verein mit der zersetzenden Kraft der atmosphärischen Agentien, wodurch eine theilweise Zerstörung des Festlandes hervorgebracht und ausgedehnte Lager von Gruß, Sand und Thon gebildet wurden. — Fünftens, vulcanische Ausbrüche.

Oder wenden wir uns, um Hallams Ausspruch zu prüfen, an eine noch bedeutendere Autorität, an A. von Humboldt, so erhalten wir die nämliche Auskunft. „Wenn wir, sagt der berühmte Verfasser des Kosmos (I. S. 258) den Erscheinungen der Bildung und Umwandlung nachspüren, welche noch jetzt unter unsern Augen vorgehen, so finden wir einen vierfachen Entstehungs-Proceß der Gebirgsarten: 1) Eruptions-Gestein aus dem Innern der Erde, vulkanisch geschmolzen, oder in weichem, mehr oder minder zähem Zustande pluto-

nisch ausgebrochen; 2) Sediment=Gestein, aus einer Flüssigkeit, in der die kleinsten Theile aufgelöst waren oder schwebten, an der Oberfläche der Erdrinde niedergeschlagen und abgesetzt (der größere Theil der Flöz= und Tertiärgruppe); 3) umgewandeltes Gestein, verändert in seinem inneren Gewebe und seiner Schichtenlage entweder durch Contact und Nähe eines plutonischen oder vulkanischen Ausbruchs=Gesteins, oder, was wohl häufiger der Fall ist, verändert durch dampfartige Sublimation von Stoffen, welche das heiß=flüssige Hervortreten gewisser Eruptions=Massen begleitet; 4) Conglomerate, grob= oder feinkörnige Sandsteine, Trümmergesteine, aus mechanisch zertheilten Massen der drei vorigen Gattungen zusammengesetzt. Diese vierfachen Gestein=Bildungen, welche noch gegenwärtig fortschreiten, durch Erguß vulkanischer Massen als schmale Lavaströme, durch Einwirkung dieser Massen auf früher erhärtete Gesteine, durch mechanische Abscheidung oder chemische Niederschläge aus den mit Kohlensäure geschwängerten tropfbaren Flüssigkeiten, endlich durch Verkittung zertrümmerter, oft ganz ungleichartiger Felsarten, sind Erscheinungen und Bildungsprocesse, die gleichsam nur als ein schwacher Abglanz von dem zu betrachten sein möchten, was bei intensiverer Thätigkeit des Erdenlebens in dem chaotischen Zustande der Urwelt, unter ganz andern Bedingungen des Druckes und einer erhöhten Temperatur, sowohl der ganzen Erdrinde, als des mit Dämpfen überfüllten und weit ausgedehnteren Luftkreises, geschehen ist."

Wer könnte, wenn er mit dieser klaren und gedrängten Darstellung Leibnizens Schilderungen der Gebirgsbildung vergleicht, die wesentliche Uebereinstimmung der Ideen verkennen? Und welch ein Ruhm für den großen Denker des siebzehnten Jahrhunderts, daß seine auf höchst spärliche und mangelhafte Beobachtungen gebaueten Schlüsse sich durch die auf reichster Erfahrung beruhenden Aussprüche des größten Naturforschers unsrer

Tage bestätigt finden! Freilich nicht ganz, nicht vollständig. Denn das Räthsel jener hochgethürmten Gebirgsmassen, an denen frühere Meere ihren Inhalt ablagerten, blieb ihm unaufgelöst, wie sehr er sich auch mühete, die Möglichkeit ungeheurer Fluthen nachzuweisen, die zu der Berge Gipfel hinangestiegen sein sollen. Man glaubt übrigens herauszufühlen, wie er selbst von seiner Erklärung nicht recht befriedigt worden und daher in seinem Zweifel an dem späteren Emporsteigen der Alpen auch wohl nicht recht fest gewesen sei. Wenigstens läßt die Art und Weise wie er diesen Zweifel ausspricht (minus consentaneum puto) den Gedanken an die Möglichkeit des Gegentheils durchblicken. Jedenfalls dachte Leibniz aber nur an eine plötzliche gewaltsame Erhebung jener ungeheuren Gebirgsmassen, die ihm unglaublich vorkam, wie sie auch Naturforschern unsrer Tage, z. B. Ch. Lyell, nicht glaublich erscheinen will. Ein dauerndes allmähliches Emporsteigen von ganzen Gebirgsländern, wie Leopold von Buch solches auf seiner Reise nach Norwegen und Schweden erkannt und nachgewiesen, ist eine Ansicht, die der Wissenschaft erst seit jener Zeit angehört und von welcher wir bei Leibniz so wenig wie bei irgend einem andern Geologen aus früheren Perioden eine Spur antreffen. Gerade durch diese Ansicht erweitert sich aber der Kreis unsrer Vorstellungen hinsichtlich der Gestaltung der Erdoberfläche so wesentlich, daß wir bei aller Anerkennung der scharfsinnigen Aussprüche, denen wir in der Protogaea begegnen, dennoch eingestehen müssen, wie sehr dieselbe in dieser Beziehung von den neuesten Fortschritten der Wissenschaft überholt worden ist. Um nun das Verhältniß der geologischen Ideen Leibnizens zu den gegenwärtig herrschenden vollständig klar aufzufassen und mit Unbefangenheit zu würdigen, darf man sie nur dem von A. von Humboldt's Meisterhand gezeichneten Naturgemälde gegenüber halten, welches uns der erste Band des Kosmos (S. 208—320) von der

Beschaffenheit und wahrscheinlichen Bildung der Erdoberfläche giebt. Ich kann mir nicht versagen, an diesem Orte wenigstens einige Züge aus demselben hervorzuheben, die in ebenso bestimmten als allgemeinen Umrissen jenes Verhältniß bezeichnen, indem sie theils Einstimmigkeit mit den Grundansichten Leibnizens zu erkennen geben, theils aber den Gedanken eines durch innere Kräfte des Erdballs noch fortschreitenden Bildungsprocesses als wesentliches Eigenthum der neueren Wissenschaft bezeichnen.

„Die dermalige Gestaltung der Continente — sagt der Verfasser des Kosmos (S. 311) — ist das Product zweier Ursachen, die auf einander folgend gewirkt haben: einmal einer unterirdischen Kraftäußerung, deren Maß und Richtung wir zufällig nennen, weil wir sie nicht zu bestimmen vermögen, weil sie sich für unsern Verstand dem Kreise der Nothwendigkeit entziehen; zweitens der auf der Oberfläche wirkenden Potenzen, unter denen vulkanische Ausbrüche, Erdbeben, Entstehung von Bergketten und Meeresströmungen die Hauptrolle gespielt haben.

Die Veränderungen des gegenseitigen Höhen-Verhältnisses der flüssigen und starren Theile der Erdoberfläche (Veränderungen, welche zugleich die Umrisse der Continente bestimmen, mehr niedriges Land trocken legen oder dasselbe überfluthen) sind mannigfaltigen ungleichzeitig wirkenden Ursachen zuzuschreiben. Die mächtigsten sind ohnstreitig gewesen: die Kraft der elastischen Dämpfe, welche das Innere der Erde einschließt; die plötzliche Temperatur-Veränderung mächtiger Gebirgsschichten; der ungleiche seculäre Wärmeverlust der Erdrinde und des Erdkernes, welcher eine Faltung (Runzelung) der starren Oberfläche bewirkt; örtliche Modificationen der Anziehungskraft und durch dieselben hervorgebrachte veränderte Krümmung einer Portion des flüssigen Elements. Daß die Hebung der Continente eine wirkliche Hebung, nicht bloß eine scheinbare, der Gestalt der Oberfläche des Meeres zugehörige sei, scheint, nach einer

jetzt allgemein verbreiteten Ansicht der Geognosten, aus der langen Beobachtung zusammenhangender Thatsachen, wie aus der Analogie wichtiger vulkanischer Erscheinungen zu folgen.

Nichts kann uns Sicherheit geben, daß jene plutonischen Mächte im Lauf kommender Jahrhunderte den bisher aufgezählten Bergsystemen verschiedenen Alters und verschiedener Richtung nicht neue hinzufügen werden. Warum sollte die Erdrinde schon die Eigenschaft sich zu falten verloren haben? Die fast zuletzt hervorgetretenen Gebirgssysteme der Alpen und der Andeskette haben im Montblanc und Monte Rosa, im Sorata, Illimani und Chimborazo Kolosse gehoben, welche eben nicht auf eine Abnahme in der Intensität der unterirdischen Kräfte schließen lassen. Alle geognostische Phänomene deuten auf periodische Wechsel von Thätigkeit und Ruhe. Die Ruhe, die wir genießen, ist nur eine scheinbare. Das Erbeben, welches die Oberfläche unter allen Himmelsstrichen, in jeglicher Art des Gesteins erschüttert, das aufsteigende Schweden, die Entstehung neuer Ausbruch-Inseln zeugen eben nicht für ein stilles Erdenleben."

Dieses noch unaufhörlich fortwirkende innere Leben der Erde als Thatsache zu erkennen, bedurfte es freilich noch eines vollen Jahrhunderts, nachdem der große Denker seine Ansichten in der Protogaea niedergelegt hatte. Wer aber könnte verkennen, wie er in diesem Werke voll bewunderungswürdiger Divination bereits dem genialen und unermüdlichen Forscher die Hand reicht, der wie kein Andrer uns das Bild der mütterlichen Erde zu entschleiern gewußt hat, so daß die deutsche Wissenschaft stets mit gerechtem Stolze auf die Protogaea als den Ausgangspunkt geologischer Ideen hinweisen darf, welche — auf die fruchtbarsten Untersuchungen gestützt — in unsern Tagen eine so vollendete Darstellung gefunden.

Mikroskopische Beobachtungen

über

Krystallbildung.

Mikroskopische Beobachtungen über Krystallbildung.

Es gehört unstreitig ein für bestimmte Auffassung der Form schon einigermaßen geschärfter Sinn dazu, um in der Betrachtung krystallinischer Gebilde dieselbe Befriedigung zu finden, dieselbe Schönheit der Gestalt zu entdecken, wie etwa in einer gefällig gebildeten Blumenkrone. Wer aber eine Reihe jener mit wunderbarer Regelmäßigkeit geformter Körper, wie sie das Mineralreich in großer Mannigfaltigkeit uns darbietet, aufmerksam betrachtet und vergleicht, fühlt sich bald von einem eigenthümlichen Reize dieser Gestalten angezogen, in denen die Gesetzlichkeit der Natur sich unmittelbar verkörpert zu haben scheint. Denn wie die unabläßig waltenden Kräfte derselben die Weltkörper eines Sonnensystems im Gleichgewicht und ungestörten Kreislaufe erhalten, so formen sie hier die Materie im kleinsten Raume symmetrisch zu den regelmäßigsten Gebilden, von scharfen Kanten und spiegelglatten Flächen begränzt. Der Anblick dieser Körper drängt unwillkürlich zu der Frage, wie sie entstanden, wie sie gerade in dieser Form aus einer andern hervorgegangen sein mögen? Ob etwa durch Aneinanderreihung kleinster atomartiger Partikeln von bestimmter Gestalt, oder allmähliches Ablagern des festwerdenden Stoffes nach verschiedenen Richtungen, und wie in diesem Falle die Mannigfaltigkeit der abgeleiteten Krystallformen zu Stande komme? Wie gering auch die Hoffnung sein möge, auf Fragen solcher Art, die auf das Werden und Entstehen der Körper zu-

rückgehen, durch unmittelbare Beobachtung eine wirklich befriedigende Antwort zu erhalten, wird sich der Forschungstrieb doch durch solches Bedenken nicht abhalten lassen, die Untersuchung so weit zu treiben, als die Gränzen der sinnlichen Wahrnehmung dies überhaupt zulassen. Hier erscheint uns nun die Beihülfe des Mikroskops höchst willkommen, nicht allein, weil die starke Vergrößerung Theilchen von äußerster Kleinheit bei ihrem Festwerden dem Auge sichtbar macht, sondern weil uns auch die Größenänderung — das Wachsthum der Krystalle — im gleichen Maße deutlicher hervortritt. Dazu kommt noch, daß bei mikroskopischen Beobachtungen die geringe Quantität der verdunstenden Flüssigkeit, welche ein Tropfen der gesättigten Auflösung eines Salzes oder andern krystallisirenden Körpers enthält, innerhalb eines Zeitraums sich verflüchtigt, der die zulässige Dauer einer fortgesetzten Beobachtung nicht überschreitet.

Die nachstehenden Mittheilungen enthalten die Ergebnisse einer Reihe von Untersuchungen über den bezeichneten Gegenstand, welche ich an sehr vielen krystallisirenden Substanzen angestellt, und von denen ich nur das, was mir Beachtung zu verdienen schien, aufgezeichnet habe. Liefern sie auch größtentheils nur eine Bestätigung dessen, was bereits über den Krystallisationsproceß an andern Orten zur Sprache gebracht ist, so werden sie doch dem Freunde der Wissenschaft als eine neue Beisteuer von Beobachtungen hoffentlich nicht ohne alles Interesse sein.

Es sei mir vergönnt, über die Mittel und das Verfahren der Beobachtungen einige Worte voranzuschicken. Das Instrument, dessen ich mich bediente, war ein Plößl'sches Mikroskop mit 72, 126, 138, 192, 240, 300, 420 und 600 facher (linearer) Vergrößerung. Von diesen Vergrößerungen wählte ich in der Regel die schwächeren, da nicht allein die beträchtlichere Helligkeit (an den meistens trüben Beobachtungs-

tagen), sondern auch der Ueberblick eines größeren Gesichtsfeldes sie vor den stärkeren empfahl. Doch gebrauchte ich auch diese — und zwar bei hellem Wetter selbst die stärksten — um den Proceß der Krystallisation möglichst von seinem ersten Beginn an zu verfolgen. Die Anwendung eines noch vollkommner construirten Plößl'schen Mikroskops, dessen Vergrößerung bis auf das 1600fache gesteigert werden konnte, ergab bei vergleichender Beobachtung keine Resultate, welche die des kleineren Instruments wesentlich vervollständigt oder modificirt hätten.

Das durchgängig von mir angewandte Verfahren bestand darin, mittelst eines Glasstabes von der gesättigten Auflösung der zu untersuchenden Substanz ein Tröpfchen auf die bereits sorgfältig eingestellte Glasplatte zu bringen. Feine Staubtheilchen, an der Oberfläche der Flüssigkeit haftend, ließen das Obenschwimmen einzelner Krystalle und die tiefere Stellung anderer mit Sicherheit erkennen. Da die Beschaffenheit der Oberfläche des Glases sich von verschiedenem Einfluß auf den langsamern oder schnellern Erfolg zeigte, so bemerke ich, daß die Krystallisation überhaupt schon durch die geringste Spur eines fettigen Ueberzuges verzögert, und durch diesen selbst beinahe bis zur Unkenntlichkeit gehindert wurde. Je reiner die Glasfläche war, um so weiter breitete sich der kleine Tropfen auf derselben aus, um so flacher ward seine Oberfläche, um so dünner sein Rand und um so schneller seine Verdunstung, also auch die Krystallisation der in ihm aufgelösten Substanz. Wenn daher die starke Convexität des kleinen Tropfens auf einen Mangel an völliger Reinheit der Glasfläche hindeutete, wurden diese vor dem Gebrauch durch Benetzung mit einer Auflösung von kohlensaurem Kali und sehr sorgfältiges Abwischen zuvor gereinigt.

Das Allgemeine der von mir beobachteten Erscheinungen läßt sich etwa auf folgende Wahrnehmungen zurückführen:

1. Die Verdunstung des Wassers von der Oberfläche des Tropfens geht anfangs nur langsam von Statten. Sie scheint an seinen Rändern, wo die Flüssigkeit eine höchst geringe Dicke hat, anzufangen, weil hier die Krystallisation gewöhnlich beginnt, und von da aus nach innen fortzuschreiten.
2. Häufig erscheinen die ersten Krystalle nicht an der äußersten Gränze des Tropfens, sondern in sehr geringem Abstande von derselben und dann der Richtung der Umfangslinie parallel gelagert (zumal wenn sie von länglicher prismatischer Form sind) oder auch in Gruppen abgesonderter sehr kleiner Krystalle.
3. Noch etwas weiter vom Rande entfernt bilden sich Krystalle von größeren Dimensionen, die beträchtlichsten unter allen, welche in dem Tropfen zum Vorschein kommen. Bei ihrer Entstehung flacht sich derselbe in der Mitte sichtbarlich ab und vertieft sich hier nach einiger Zeit.
4. Weiter nach innen zu bilden sich allerdings in der Regel noch eben so geformte Krystalle von geringerer Dimension; die Gegend der Mitte enthält aber zu solchen gewöhnlich nicht mehr Substanz genug, und so wie hier die unmeßbar dünn gewordene Schicht der Flüssigkeit ihren geringen Wassergehalt endlich sehr rasch verliert, schießen mit einer oft überraschenden Geschwindigkeit die festen Theile blatt- oder nadelförmig von allen Seiten zu einer netzartigen Bildung zusammen.
5. Ist die Grundform des krystallisirenden Körpers nicht eine länglich prismatische, sondern eine den regelmäßigen Körpern sich annähernde Gestalt, so entstehen die Krystalle mehr getrennt von einander und auch weiter im Innern des Tropfens.
6. Es ist sehr schwierig, den eigentlichen Anfang dieser Ent-

stehung wahrzunehmen, da man vielmehr die Krystalle gewöhnlich erst bemerkt, wenn sie sich schon in ihrer bestimmt ausgeprägten Form zeigen. Betrachtet man zur Zeit, wo dieses der Fall ist, andere noch völlig durchsichtige Stellen des Tropfens mit geschärfter Aufmerksamkeit, so nimmt man hin und wieder kleine graue Pünktchen wahr, an denen — eben ihrer Kleinheit wegen — eine bestimmte Gestalt noch gar nicht zu erkennen ist. Nach kurzer Zeit aber erweitert sich der Punkt und wird in seinem Innern durchsichtig, wobei man dann sehr bald die von scharfen Linien begränzte Figur des sich bildenden Krystalls deutlich erkennen kann.

7. Beim Wachsen desselben zeigt sich, sofern die umgebende Flüssigkeit ihm von allen Seiten den dazu nöthigen Stoff darbietet, eine völlig gleichmäßige Zunahme, wobei die einzelnen Flächen (was man bei der Spiegelung des von ihnen zurückgeworfenen Lichtes sehr bestimmt wahrnimmt) fortwährend ihre vollkommene Glätte behalten. Die Gestalt des Krystalls bleibt also während seiner allmählichen Vergrößerung ungeändert.

8. Eine scheinbare Ausnahme erleidet diese Regel, wenn die einfachen Krystalle sich compact gruppiren oder die Ausbildung (aus Mangel an nöthiger Substanz) nur theilweise nach einzelnen Richtungen erfolgt.

9. Die zuweilen wahrnehmbaren inneren Bewegungen in der Flüssigkeit scheinen vorherrschend mechanischer Natur zu sein und insbesondere der Adhäsion zugeschrieben werden zu müssen, da man sie meistens in der Nähe des Randes oder in der Gegend der größeren Krystalle bemerkt, welche bei Fortsetzung der Verdunstung sich aus der Flüssigkeit erheben.

10. Ein anderer Grund dieser inneren Bewegungen liegt in dem Umstande, daß die nächste Umgebung eines sich bildenden

Krystalls mehr als die entfernteren Theile der Flüssigkeit der aufgelös'ten Substanz beraubt und daher specifisch leichter wird, welches innere Strömungen herbeiführt.

11. In vielen Fällen sieht man im Innern eines Krystalls, dessen Oberfläche vollständig und regelmäßig abgeschlossen erscheint, unregelmäßige Höhlungen und Lücken.

12. Bleibt bei'm Wachsen prismatischer Krystalle (zumal bei schräger Richtung der vorschreitenden Kante) die eine Seite in ihrer Bildung etwas zurück, so daß ein gezackter oder treppenförmiger Rand entsteht, so tritt alsbald eine Verzögerung des weiteren Vorschreitens ein, bis die entstandenen Lücken ausgefüllt und die ursprünglichen Umrisse wiederhergestellt sind.

Unter den specielleren Erscheinungen, welche die Beobachtung der einzelnen krystallisirenden Körper zeigte, scheinen die nachstehenden mir noch einer besondern Erwähnung zu verdienen.

In der Auflösung des Chlornatriums sieht man die anfänglich würfelförmigen Figuren der kleinen Krystalle schnell zu Pyramiden mit treppenförmigen Seiten wachsen, welche innen hohl sind; ein Zeichen, daß an dem cubischen Krystall der Spitze sich unten ein quadratischer Rahmen, an diesen wieder ein größerer u. s. f. setzt, wonach die Attractionskraft jedesmal vorherrschend in der äußersten unteren Kante hervortritt.

Eine solche rahmenförmige Bildung der Krystalle zeigt sich vorzüglich deutlich in einem Tropfen der Auflösung von salpetersaurem Natron, wo neben den octaedrischen einzelne größere prismatische Krystalle mit den schärfsten Kanten und völlig ebenen Seitenflächen sich bilden, während ihr Inneres vom Umfange aus sich nur allmählich und höchst unregelmäßig füllt, indem parallele Blättchen senkrecht von den Flächen auslaufen.

Bei den Farrenkraut=ähnlichen Krystallisationen des Chlor=Ammoniums, welche sich bildeten, indem an die vom Rande ausgehenden Zweige andere rechtwinklig und an diese wieder kleinere eben so sich fügten, war es auffallend, über einer solchen Bildung häufig eine andere entstehen zu sehn, welche denselben Linien folgte, aber aus einer Reihe größtentheils unzusammenhängender Krystalle bestand, woraus man auf eine disponirende Kraft der bereits vorhandenen Krystallisation schließen darf.

Besonders gut eignet sich zu mikroskopischen Beobachtungen eine gesättigte Alaunauflösung. Erwärmt man sie, so zeigt ein Tropfen durch die schnelle Verdunstung augenblicklich Krystalle in seinem Innern, welche sich theilweise seitwärts bewegen, um mit andern am Rande sich zu verbinden. Bei einer sehr starken Vergrößerung erschienen anfänglich dem Auge kaum bemerkbare graue Pünktchen, welche sich allmählich zu kleinen Gestalten von noch unerkennbaren Umrissen erweiterten, in denen man jedoch sehr wohl den hellen Kern und die (von den geneigten Seitenflächen gebildeten) dunkleren Ränder unterschied. Erst bei weiterem Wachsen zeigten sich deutliche Krystallgestalten von übrigens sehr mannigfacher Form. Sie erschienen zum Theil isolirt, aber auch häufig zu Zweien oder Dreien neben einander, auch wohl in Reihen oder Haufen gruppirt. Als ich einen Tropfen der Auflösung auf eine fein getheilte Mikrometerplatte brachte, konnte ich sehr bestimmt wahrnehmen, wie die Entstehung der Krystalle nicht am Boden derselben, sondern etwas unterhalb der Oberfläche des Tropfens vor sich ging. Die Begünstigung ihrer Bildung durch zufällige Anhaltspunkte, z. B. feine Stäubchen, die in der Flüssigkeit schwammen, oder etwas Priestley'sche Materie, war unverkennbar.

Auch die Auflösung des schwefelsauren Kupferoxyds zeigt im Innern der Flüssigkeit die Entstehung isolirter Kry=

stalle, deren Zunahme oft sehr rasch fortschreitet, wobei die Gestalt unverändert bleibt. Die blaue Färbung des Körpers kommt hier der Beobachtung zu Hülfe und läßt zugleich wahrnehmen, wie der wachsende Krystall die Flüssigkeit umher allmählig entleert.

Das Letztere gilt in noch höherem Maße von der gelben Färbung des doppelt chromsauren Kali's, wo man an der bleicheren Farbe der nächsten Umgebung des Krystalls deutlich erkennt, wie derselbe der Flüssigkeit den aufgelös'ten Stoff entzieht, um sich mit demselben zu bereichern. Die Krystallbildung begann am Rande undeutlich netzförmig, worauf sich nach innen rechteckige, häufig an den Ecken abgestumpfte Tafeln entwickelten, bei deren Anwachsen die Mitte des Tropfens sich immer mehr entfärbte. Gegen das Ende bildeten sich schmale prismatische Krystalle mit auffallender Schnelligkeit.

In der Auflösung des essigsauren Kupferoxyds war die ungeheure Menge der entstehenden kleinen rhombischen und rhomboidischen Krystalle überraschend. Betrachtete man sie bei 600 maliger Vergrößerung, so bemerkte man in Einzelnen Flüssigkeit eingeschlossen und in dieser wiederum höchst kleine aber sehr bestimmt ausgeprägte Krystalle. Viele andere waren im Innern ganz unvollständig, aber nach Außen scharf begränzt; ein Beweis, wie sehr die krystallbildenden Kräfte gerade in der Bildung der Umgränzung thätig sind, wogegen die innere Ausfüllung der Form als mehr zufällig zurücktritt.

Bei salpetersaurem Silberoxyd ging die Krystallisation lediglich vom Rande aus. Es bildeten sich schmale, parallellaufende Streifen, etwa wie Messerklingen geformt, deren scharfe Ränder indessen bald gezackt erschienen und seitwärts Blättchen hervortrieben, welche sich zum Theil in kleinen gerundeten Körpern ablös'ten. Da diese nun nicht selten in gerader Linie gelagert erschienen, einander fast berührend, könnte

es scheinen, als ob die Krystallisation eine Folge der gerad=linigen Anordnung kugelförmiger Partikelchen sei, wenn nicht die Betrachtung der Entstehung dieser rundlichen Körper eine solche Ansicht sehr einfach widerlegte.

Von einer Durchkreuzung der krystallinischen Bildung, ohne daß eine Störung dabei bemerklich gewesen wäre, gab die Auflösung von salpetersaurem Ammonium ein interessantes Beispiel. Nadelförmige Krystalle liefen nebeneinander in paralleler Richtung fort, sich seitwärts krümmend und von andern eben solchen durchschnitten, die sich nach der entgegengesetzten Seite krümmten. Die dadurch entstehende Figur hatte das Ansehn eines gothischen Bogenfensters, in dessen Spitze eine Menge vollkommen regelmäßiger Felder sichtbar waren, indem die Linien einander hier kreuzten. War die Verdunstung des Tropfens ihrem Ende nah, so wurde der innere Raum mit auffallender Schnelligkeit von einer krystallinischen Bildung sehr feiner Nadeln erfüllt, die ganz das Ansehen einer Damastwebung hatte, worin die Fäden einander schiefwinklig kreuzen und regelmäßige Felder bilden.

Von der verschiedenartigen Gestaltung der Krystalle, insofern sie lediglich von der Dicke der flüssigen Schichten abhängt, giebt das essigsaure Bleioxyd ein besonders auffallendes Beispiel. In einem Tropfen seiner Auflösung bildete sich rings am Rande ein Polygon aus sehr scharf ausgeprägten Krystallen, von dessen Ecken und Seiten wieder Krystalle nach innen ausliefen. Als nun aber die Flüssigkeit im Innern äußerst dünn geworden war, entstand eine sehr verschiedenartige Bildung vom Centrum aus, indem höchst dünne Nadeln von hier nach allen Richtungen ausliefen, und erst wenn sie dem Rande nahe kamen, zu deutlich erkennbaren vierseitigen Prismen wurden. In einem andern Tropfen fand diese concentrische Bildung je=

doch nicht Statt; vielmehr gewann das Innere das Ansehen der unregelmäßigen Eisblumen an gefrornen Fensterscheiben.

Von den rhombischen Tafeln, in denen das chlorsaure Kali krystallisirte, schien die eine Ecke unten am Glase festzuhaften; denn bei absichtlicher Erschütterung des Tropfens bemerkte man deutlich, wie die Krystalle in der Flüssigkeit um diesen festen Punkt in schwankende Bewegung geriethen. Auffallend erschien es, daß die stumpfe Ecke eines Krystalls die spitze des andern anzog, da dieser sich drehete und dann sich an jenen heftete.

Im Umfange eines Tropfens aus der Auflösung salpetersauren Bleioxyds bildete sich anfänglich eine äußerst dünne, undeutlich geformte Rinde mit glatten Rändern nach innen, die indeß allmählich wie gefranzt erschienen. Plötzlich schritt nun längs dieser ersten Aussenrinde die eigentliche Krystallbildung fort, indem gleichzeitig sehr deutliche Krystalle nach innen hervorschossen, größtentheils normal gegen den Umfang gerichtet und ziemlich bis zu gleicher Länge sich ausdehnend. Es gab sich bei diesem Vorgange mit großer Deutlichkeit zu erkennen, wie die bereits gebildeten größeren Krystalle auch die überwiegende Anziehung auf die krystallisirbare Masse ausüben und zunächst die benachbarten Theile der Flüssigkeit von derselben entleert werden. Denn zwischen den (gleich Festungswerken) hervorspringenden Winkeln und den kleineren im Innern des Tropfens entstandenen Krystallen, befand sich am Ende ein schmaler völlig freier Raum.

Bei der Krystallisation von schwefelsaurem Zinkoxyd im Umfange des Tropfens war es auffallend, daß nur die Oberfläche fest war, und durch die Ansetzung von unten emporgehoben schien.

Ein allmähliches Ansetzen krystallinischer Schichten von unten zeigte sich besonders deutlich bei dem Krystallisiren des

Chlor-Baryums, wo unter den bereits gebildeten quadratischen Platten andere hervortraten und so ein Aggregat von treppenförmigem Ansehn erzeugten, dessen Stufen gleichmäßig zu wachsen schienen. Am Rande entstand auf solche Weise ein erhöheter Wall, im Innern noch mit Flüssigkeit erfüllt, welche sich ausdehnte und die feste Rinde sprengte, wenn der Spiegel das Licht der Sonne dahin reflectirte und somit das eingeschlossene Wasser erwärmte. Ähnliche Erscheinungen hinsichtlich des Hervortretens der Krystalle unter anderen bereits gebildeten zeigte ebenfalls das schwefelsaure Natron in zickzackförmiger Gestaltung.

Bei der Krystallisation des salpetersauren Baryts bildeten sich zwei oder drei Ketten kleinerer octaedrischer Krystalle concentrisch um vereinzelte größere, welche also die Flüssigkeit umher bereits dergestalt erschöpft hatten, daß andere von gleichem Umfange in ihrer Umgebung nicht weiter hervorgehen konnten. Bemerkenswerth war es, wie eine Menge äußerst kleiner Krystalle sich in die Nähe eines jener größeren drängte, der von einem schmalen Streifen völlig durchsichtiger Flüssigkeit umgeben war, und sobald sie in diesen Streifen hineintraten, sich alsbald auflös'ten und dem Auge unsichtbar wurden, während jener größere Krystall in fortwährendem Zunehmen begriffen war. Hier erkannte man also auf das bestimmteste, wie die des Stoffes entleerte Flüssigkeit oft auf Kosten kleinerer Krystalle sich wieder sättigt, um den aufgenommenen Stoff größeren zuzuführen, welche stets von neuem die nächste Umgebung entleeren.

Von krystallisirenden Säuren bietet vor allen die Oxalsäure interessante Erscheinungen dar, sowohl was die Mannigfaltigkeit als was die große Schärfe und Deutlichkeit der Krystallbildungen betrifft. Zuweilen schossen sehr zarte nadelförmige Krystalle, parallel der Umfangslinie, an und von hieraus an-

dere nach innen; ein anderes mal dagegen (wie es schien, in Folge größerer Concentration der Auflösung) bildeten sich eine unzählige Menge isolirter kleiner Krystalltafeln in der Form eines Rechtecks oder anderer abgeleiteter Gestalten; nadelförmige Krystalle entstanden hier erst, als der Tropfen fast verdunstet war, in seiner Mitte. Die vom Rande nach innen vorschreitenden schmalen Prismen erschienen vorn schräg abgeschnitten, und oft ereignete es sich bei ihrem Wachsen, daß ein Theil der Vorderkante zurückblieb, wodurch sie gezackt wurde, dann schoß (im letzten Momente der Verdunstung) der vordere schmalere Theil mit auffallender Geschwindigkeit über das ganze Gesichtsfeld fort. Auch hier konnte man deutlich wahrnehmen, wie die Umrisse der Krystalle in großer Schärfe sich bilden, während das Innere derselben häufig unvollständig bleibt.

Beim Krystallisiren der Citronensäure zeigte sich sehr deutlich das Bestreben des Krystalls, seine Gestalt zu behaupten, indem die Lücken im zufällig gestörten zurückgebliebenen Theil der schrägen Vorderkante sich stets ausfüllten, ehe diese weiter vorschritt. Übrigens erschien hier, wie auch beim Krystallisiren der Weinsäure die Bildung oft dadurch weniger deutlich, daß sie gleichzeitig in verschiedenen Richtungen und Schichten der Flüssigkeit Statt fand.

Schließlich erwähne ich noch, daß ich — um auch einige Fälle der elektro-chemischen Thätigkeit in den Kreis meiner Beobachtungen zu ziehen — Tropfen einer Silberauflösung mit der feinen Spitze eines Stückchens Zink in Berührung brachte. Die augenblickliche Folge war eine gabelästige Ramification kleiner Silberpartikeln, welche ziemlich symmetrisch nach allen Seiten auslaufende Aeste bildeten. Diese Äste bewegten sich plötzlich und gleichzeitig nach einer Seite, wie in Folge einer Strömung, oder es bewegten sich einige von ihnen einander entgegen. Die Erscheinungen waren fast ganz überein-

stimmend bei der Anwendung von schwefelsaurem oder salpetersaurem Silberoxyd.

Sehr verschiedenartig von den ebenerwähnten Bewegungen, welche auf einen elektrischen Strom hindeuten, sind diejenigen, welche man beim eigentlichen Krystallisiren im Innern der Flüssigkeit zuweilen wahrnimmt. Wo man solche Bewegungen bemerkt, da scheinen sie — wie schon oben erwähnt — nicht sowohl in Folge anziehender chemischer oder elektrischer Kräfte, als vielmehr aus rein mechanischen und oft sehr zufälligen Ursachen Statt zu finden. So bilden sich z. B. in einem Tropfen der Auflösung von salpetersaurem Kali da, wo am Rande Buchten entstehen, mit großer Schnelligkeit kleine rhombische Krystalle, welche unmittelbar darauf von andern verdrängt und nach innen getrieben werden, während die Bucht durch Ausdehnung der flüssigen Umgebung sich erweitert. Bei jener Bewegung der nach innen gedrängten Krystalle legen sich dieselben ohne irgend eine deutlich hervortretende Regelmäßigkeit, welche auf bestimmte Anziehung einzelner Punkte hindeutete, bald mit den Ecken bald mit den Seiten aneinander. Im Allgemeinen verhalten sich die entstehenden Krystalle vollkommen ruhig, wenn sie nicht durch Erschütterung aus ihrer Lage gebracht werden, und wenn man in diesem Falle bemerkt, daß einzelne sich drehen, um an andere sich anzulegen, so würde der Schluß, daß solches in Folge eigenthümlicher Attraction geschehe, keineswegs gerechtfertigt erscheinen, da die bekannten Phänomene der Adhäsion hier zur Erklärung vollkommen ausreichen.

Nachdem im Vorstehenden von den beobachteten Thatsachen die Rede gewesen, mögen schließlich noch einige Bemerkungen über dieselben folgen. Auf die Frage nach dem Ausgangspunkte der Krystallisation geben die Beobachtungen offenbar keine genügende Auskunft und lassen es namentlich im Dunkel, warum der werdende Krystall schon in seinen ersten kaum wahr-

nehmbaren Anfängen die nämliche Form zu erkennen giebt, mit welcher wir ihn nachher wachsen sehen, statt sich vielleicht durch Gruppirung sehr kleiner gleichförmiger Partikeln zu bilden oder doch mit einer einfachen Kerngestalt zu beginnen und später davon abgeleitete Gestalten anzunehmen. Die gleichmäßige Zunahme der Krystalle läßt sich dagegen recht wohl dadurch erklären, daß in Folge der Attraction, welche die schon gebildeten Flächen gegen die nächstbenachbarten Theilchen der umgebenden Flüssigkeit ausüben, der festwerdende Bestandtheil derselben sich auf jenen Flächen ablagert, während das auflösende Mittel frei wird. Der Umstand, daß bei diesem Wachsen der Krystalle die Flächen stets spiegelglatt erscheinen, übereinstimmend mit der bekannten Thatsache, daß in Krystallen allgemein eine parallele Schichtung im Blätterdurchgange sich zu erkennen giebt, nöthigt nun aber zu der weiteren Annahme, daß bei jeder Ablagerung der krystallisirenden Masse (und wahrscheinlich in dem Momente, wo sie aus dem flüssigen in den festen Zustand übergeht) eine Flächenbildung derselben eintrete, bei welcher die seitwärtswirkenden und gestaltenden Kräfte in der unendlich dünnen Schicht diejenigen noch überwiegen, welche die festwerdende Materie senkrecht gegen die vorhandenen Seitenwände des Krystalls ziehen. Von der Tendenz aber, unter begünstigenden Umständen die Gestalt höchst dünner Platten, und zwar in kurzer Zeit, anzunehmen, giebt gerade die mikroskopische Beobachtung der Mitte eines salzhaltigen Tropfens vielfache Beweise, indem hier durch die äußerst geringe Dicke der Flüssigkeit die krystallbildende Masse jedenfalls gezwungen wird, in äußerst dünnen Schichten feste Gestalt anzunehmen.

Aeltere und neuere Ansichten

über

Wesen und Gestaltung der Materie.

Ueber Wesen und Gestaltung der Materie.

Das Wesen der Materie so wie die verschiedenartige Gestaltung, in welcher sie als fest oder flüssig zur Erscheinung kommt, ist ein Gegenstand, welcher von jeher das Nachdenken derer beschäftigt hat, die sich für die Erscheinungen der Natur bis zu ihren tieferliegenden Quellen interessiren. Nicht allein die Substanz der ganzen Körperwelt so wie den wesentlichen Unterschied in ihren physischen Formen begriffsmäßig zu bestimmen, genügt dem forschenden Verstande; es drängt ihn vielmehr zu weiterer Frage und Untersuchung, worin eine solche verschiedenartige Beschaffenheit der Körper ihren Grund haben möge; was namentlich die eigentliche Ursache der Festigkeit oder Flüssigkeit sei? Daß die Bedeutsamkeit dieses Gegenstandes zu aller Zeit sich dem Denker und Beobachter aufgedrängt und zu Versuchen der Erklärung veranlaßt habe, erkennen wir zur Genüge bei'm Durchgehen älterer physikalischer und naturphilosophischer Schriftsteller. Was sich auf diesem Wege ergiebt, werde hier—freilich nur in gedrängten Umrissen—zu bequemer Uebersicht in chronologischer Folge zusammengestellt und von einigen Bemerkungen begleitet, zu denen der gegenwärtige Standpunkt naturwissenschaftlicher Betrachtung von selbst auffordert.

Es ist begreiflich, daß die Frage nach dem Wesen der Materie wie nach dem Ursprunge des festen oder flüssigen Zustandes der Körper, da sie mit den entschiedenen Gegensätzen in den Principien der Naturbetrachtung auf's innigste zusammen-

hängt, stets sehr abweichende Beantwortungen gefunden hat, jenachdem die Erörterung sich auf unmittelbare Beobachtung oder auf bloße Speculation stützte. Der Physiker im engern Sinne wird sich nicht leicht mit dem Naturphilosophen einverstanden erklären, welcher Fragen, die in das Wesen der Materie eingehen, nicht nach dem ungenügenden Zeugniß der Sinne, sondern vielmehr nur durch Begriffsentwickelung glaubt beantworten zu müssen und daher solche Fragen aus dem Bereiche der Physik in das der Metaphysik versetzt. Andere erkennen, wie wenig hier Empirie oder Speculation, jede für sich allein und unbekümmert um einander, zu leisten im Stande sind: aber sie vermögen so wenig, beide zu versöhnen und die Forderungen der Phantasie und des Verstandes zugleich zu befriedigen, daß sie mit ihren Erklärungen am Ende nicht glücklicher sind als die Verfechter jener extremen Ansichten. In dieser Hinsicht liefert denn allerdings die folgende Darstellung nur das Gemälde einer Reihe von Bestrebungen, die mehr von dem unermüdlichen Drange des menschlichen Geistes zeugen, in die Geheimnisse der Natur einzudringen, als daß sie im Stande wären, uns die gewünschte Befriedigung zu gewähren.

I.

Ansichten aus dem Alterthume.

Wenden wir uns zunächst zum griechischen Alterthume, so begegnen wir den frühesten Spuren der Naturphilosophie in den Aussprüchen der Orphiker, welche das Wasser (ὕδωρ, Ὠκεανός, Τηθύς) als die primitive Materie, den Urstoff, aus welchem die Welt hervorgegangen, betrachten und daher mit diesem Worte wohl nur die anfängliche Mischung aller

Körperelemente im flüssigen Zustande — das Chaos — bezeichnen wollen. Eine die ganze Natur durchdringende Lebenskraft war ihnen die Ursache, welche das Feste vom Flüssigen ausschied. Und in der That darf man von der ersten Stufe philosophischer Naturbetrachtung kaum eine andere als die in solcher Unbestimmtheit gegebene Erklärung der Erscheinungen erwarten.

Eben so wenig giebt Thales von Milet (600 v. C.), der Begründer der Jonischen Schule, eine andere Auskunft, als daß das Wasser die uranfängliche Materie (ἀρχή) sei, wobei es ungewiß bleibt, ob dasselbe aus eigener Kraft Festes zu bilden vermöge oder dazu eines besondern Lebensprincips (νοῦς) bedürfe. Eine schon viel bestimmtere und von wirklicher Beobachtung geleitete Ansicht spricht dagegen Anaximander, der Genosse des Thales, aus, indem er in der uranfänglichen Materie, die er als das physisch-Unendliche (τὸ ἄπειρον) bezeichnet, zwei entgegengesetzte Kräfte annimmt, die Wärme und die Kälte, welche nach ihm durch Ausdehnung und Zusammenziehung Körper bilden. Ueber den Grund ihrer verschiedenartigen Beschaffenheit läßt er uns aber im Dunkel, da jene Kräfte ihm zur Körperbildung überhaupt nöthig erscheinen, und eben so macht es sein Schüler Anaximenes, dem die Luft (ἀήρ) als Urstoff der Welt gilt.

Hatten die Philosophen der Jonischen Schule Wasser oder Luft als das Princip der Körperwelt angenommen, so setzte Heraklit von Ephesus (500 v. C.) das Feuer an deren Stelle, und zwar ein Feuer reinster und göttlicher Art, aus welchem das gewöhnliche ebensowohl als Luft, Wasser und Erde entstehen sollte, so wie es nach seiner Ansicht sich wiederum aus diesen vier Elementen im fortwährenden Flusse (ῥοή) von neuem erzeugte. Er schildert jenes Feuer als unkörperlich, zugleich aber als Urstoff alles Körperlichen und als Lebenskraft, und

hebt somit den Unterschied in den Begriffen von Kraft und Materie im Grunde auf. Wie er ausdrücklich über die Ursache der Festigkeit und Flüssigkeit gedacht, erfahren wir nicht, wenn er auch die Verdichtung und Verdünnung dem Feuer zugeschrieben haben soll. In seiner Ansicht von zwei einander widerstreitenden Kräften (ὁμολογία καὶ ἔρις) begegnet er dem Anaximander.

Viel bestimmter als die bisher genannten Naturphilosophen spricht Empedokles von Agrigent (460 v. C.) seine physikalischen Grundansichten aus. Ihm gelten nämlich die vier Elemente — Wasser, Erde, Luft, Feuer — als Urstoffe, aus deren Mischung alle Körper hervorgehen sollen. In diesen Elementen nimmt er ferner zwei einander entgegengesetzte Kräfte an, die er als Freundschaft und Feindschaft (φιλία καὶ νεῖκος) bezeichnet, so daß er also im Ganzen sechs Principe der materiellen Welt aufstellt. Dabei unterscheidet er streng die Begriffe von Kraft und Stoff, wenn er auch zugiebt, daß beide nirgends vereinzelt gefunden werden mögen. Seine Vorstellungsweise nähert sich also in vielen Beziehungen denen der neueren Physiker, nur geht sie nicht sorgfältig genug auf die besonderen Erscheinungen der Körperwelt ein und läßt die Verschiedenheit des festen und flüssigen Zustandes völlig unerörtert.

Höchst unbestimmt lauten die Ansichten des Pythagoras (540 v. C.), des genialen Begründers der italischen Schule, der das Wesen der Dinge und somit auch der Materie in die Begriffe von Maß und Zahl setzte und behauptete, daß alles Körperliche aus dem Unendlichen entstehe, wobei es im Unklaren bleibt ob er dieses als ein Materielles aufgefaßt. Das göttliche Feuer durchströmt nach ihm Alles belebend und gestaltend, ohne daß uns jedoch hieraus die Verschiedenheit der Gestaltung erklärbar würde. Schon befriedigender bezeichnet Anaxagoras von Klazomenae (450 v. C.) die Materie (ὕλη) als eine Mischung aus ähnlichen an sich noch zusammengesetzten Theilchen

(ὁμοιομέρειαι), aus deren mannigfacher Verbindung Körper entstehen sollen, während er unabhängig von aller Materie eine geistige alles erzeugende und belebende Kraft oder Weltseele (ψυχή τοῦ κόσμου) annimmt. Doch erscheinen auch diese Begriffe, gleich denen des Pythagoras, viel zu allgemein und unbestimmt, als daß man deutliche Vorstellungen mit ihnen verbinden könnte.

Ungleich größere Befriedigung gewähren die Aussprüche der sogenannten Atomistiker, die nach dem Zeugniß des Aristoteles die verschiedenen Zustände der Körperwelt auf bestimmte Ursachen zurückzuführen bemüht waren. Den eigentlichen Grund zu dieser durch alle Zeiten hindurchgehenden Lehre legte Leucippus (500 v. C.); vervollständigt ward sie durch Demokrit von Abdera. Denn während jener sich damit begnügte, zu lehren, daß Alles aus höchst kleinen Körpern von verschiedenster Gestalt bestehe von einer solchen Härte, daß sie weder theilbar noch veränderlich seien, weshalb er sie eben Atome (ἄτομοι) nennt, legt Demokrit denselben auch die Eigenschaften der Schwere, Undurchdringlichkeit und Unzerstörbarkeit bei. Als zweites Princip der Dinge nahmen diese Philosophen neben der Materie noch den leeren Raum an, dem sie als ein drittes noch die Bewegung hinzufügen. Denn Demokrit schildert die Atome als unaufhörlich im Raume sich umher bewegend, einander stoßend und drängend und durch Nothwendigkeit (ἀνάγκη) alles Bestehende erzeugend oder umbildend. Die Entstehung und Zerstörung der Körper schreibt Leucippus der Verbindung oder Trennung (σύγκρασις καὶ διάκρισις) der Atome, ihre Umwandlung (αλλοίωσίς) aber der Ordnung und Stellung (τάξις και θέσις) derselben zu, wobei der eine Theil sich activ, der andere aber passiv verhalte. Die mannigfachen physikalischen Eigenschaften der Körper, wodurch sie unsre Sinne auf so verschiedenartige Weise afficiren, sollen in der Gestalt der Atome ihren

Grund haben; so z. B. die Wärme in der runden Form derselben. Die vorausgesetzte unendliche Mannigfaltigkeit der Atomformen eröffnete der Einbildungskraft für die Erklärung der Erscheinungen ein um so größeres Feld, als jene kleinsten Theile der Körper zufolge der Behauptung der Atomistiker sich aller sinnlichen Wahrnehmung entziehen.

Wie wenig indessen Hypothesen dieser Art der schärferen Kritik zu genügen vermögen, ergiebt sich aus einer näheren Prüfung der Ansichten Epikur's (300 v. C.), der die Sätze des Leucippus und Demokrit zur Grundlage seines naturphilosophischen Systems nahm, um sie in diesem weiter auszuführen. Bekanntlich verdanken wir die genauere Kenntniß seiner Lehren dem trefflichen Lehrgedichte des T. Lucretius Carus von der Natur der Dinge, woraus hier dasjenige hervorgehoben werden mag, was den Gegenstand betrifft.

Dem römischen Dichter zufolge lehrt Epikur, alle Dinge seien aus höchst kleinen materiellen Theilchen zusammengesetzt, welche man nicht sehen, sondern nur mit dem Gedanken fassen könne. Diese festen, unverwüstlichen und untheilbaren Körperchen (Atome) bewegen sich nach ihm mit heftiger und nothwendiger Bewegung von Ewigkeit her im leeren Raume. Aus ihrem fortwährenden Zusammenstoß und ihrer Vermischung gehen die in unsre Sinne fallenden Körper hervor. Ist aber auch die Menge der Atome unendlich, so doch nicht in gleicher Weise die Mannigfaltigkeit ihrer Gestalten, worin Epikur der Ansicht Demokrits entgegentritt. Wenn jene Atome (der Dichter nennt sie bildlich und bedeutungsvoll semina, primordia, genitalia rerum) sich enger verbinden, erzeugen sie harte und dichte — wenn die Verbindung eine mehr lockere ist — weiche und dünne Körper; doch ist die Gestalt der Atome hiebei von wesentlichem Einfluß. Den festen Zustand schildert der Dichter mit den Worten:

Denique quae nobis durata ac spissa videntur,
Haec magis hamatis inter sese esse necesse est
Et quasi ramosis alte compacta teneri.

Den Grund der Flüssigkeit giebt er in den nachfolgenden Versen an:

Illa quidem debent ex laevibus atque rotundis
Esse magis, fluido quae corpore liquida constant.
Nec retinentur enim inter se glomeramina quaeque,
Et procursus item in proclive volubilis exstat.

Man kann nicht umhin, dieser atomistischen Lehre, welche sich zum Theil noch bis auf den heutigen Tag in ihrem Ansehen behauptet, eine große Consequenz zuzugestehen, wenn man sich auch durch die Fiction jener vollkommen festen, harten und untheilbaren Partikelchen bei genauerer und unbefangener Prüfung nicht befriedigt fühlen wird. Denn daß die Atome in Folge ihrer unüberwindlichen Härte untheilbar seien, ist immerhin eine gewaltsame — wenn auch bei deren behaupteter Unwahrnehmbarkeit gar nicht zu widerlegende — Hypothese, da man hinsichtlich der Theilbarkeit nur das zugeben kann, daß die Natur bei den einzelnen Stoffen darin über eine gewisse Grenze vielleicht nicht hinauszugehen pflege. Auch würde jene unaufhörliche Bewegung, welche die Atome zur Erzeugung von bestimmten Körpern mit einander in Zusammenstoß und Vereinigung bringen soll, unserm Begriffe von allgemeinen, gesetzlich wirkenden Naturkräften auf's entschiedenste widerstreiten; es sei denn, daß man unter jener Nothwendigkeit (ἀνάγκη) eben die von uns geforderte Gesetzlichkeit verstehe. Soll damit aber nur das blinde Spiel des Zufalls bezeichnet werden, wie andere Stellen dies wahrscheinlich machen, so verstößt die atomistische Theorie zu sehr wider die Forderungen der Vernunft, wie gegen das Zeugniß der Naturbeobachtung, als daß sie irgend auf Billigung des unbefangenen Forschers Anspruch machen könnte. Selbst diejenige ihrer Be=

hauptungen, welche Manche am meisten geneigt sein könnten ihr zuzugeben, daß nämlich die Verschiedenheit im Zustande der Körper von der verschiedenartigen Gestaltung der unerkennbaren kleinsten Theilchen herrühre, bekämpft schon Aristoteles mit der Bemerkung, daß durch eine solche Fiction die Grenze menschlicher Erkenntniß geradezu überschritten werde. So lange man den Begriff der Kraft ausschließt, wird man durch die Hypothese eigenthümlicher Formen der verschiedenartigen Atome weder die Cohäsion noch die Festigkeit der Körper zu erklären im Stande sein. Wenn Epikur den Zustand der Flüssigkeit durch die Fiction kugelförmiger und daher höchst beweglicher Atome zu erklären sucht, so ist zunächst das dagegen zu erinnern, daß die Erscheinung der Wärme nach seiner Ansicht durch die nämliche Atomgestalt bedingt sein soll, da doch beiderlei Phänomene wesentlich verschiedenartige sind. Ein völlig unfruchtbares Geschäft würde es übrigens sein, sich mit der Atomistik in eine Bekämpfung der vorgeblichen Atomgestalten einzulassen, da sie in deren Erfindung die unbedingteste Freiheit hat und von Seiten der empirischen Naturforschung nicht zu widerlegen ist.

Wenden wir uns zu den naturphilosophischen Ansichten, welche uns von Plato (400 v. C.) überliefert sind, so finden wir im Ganzen nur weniges im Timaeus erwähnt, wo er die Körperbildung der Verdichtung jener unendlichen und gestaltlosen Materie zuschreibt, welche der unmittelbaren Schöpfung der Gottheit ihren Ursprung verdanke. Als Urstoffe bezeichnet er die vier Elemente, deren Verschiedenheit in der abweichenden Form ihrer Theile begründet sei. Den Partikeln des Erdenstoffs, als unbeweglichen Theilchen, schreibt er die Gestalt des Würfels zu, wodurch er die Erscheinung der Cohäsion zu erklären meint; den übrigen drei Elementen aber giebt er dreieckige Seitenflächen, den Partikeln des Feuers namentlich die Form von Tetraedern, wodurch es geschickt gemacht werden soll, als das flüchtigste aller

Elemente andere Körper mit Leichtigkeit zu durchdringen. Auch hier wird übrigens eine Kleinheit aller Elementartheilchen vorausgesetzt, die sie jeder sinnlichen Wahrnehmung entziehn.

Man erkennt leicht, wie wenig diese Ansichten im Grunde von denen der obengenannten Naturphilosophen abweichen und wie sehr sie da, wo sie auf speciellere Erscheinungen einzugehen unternehmen, sich namentlich den atomistischen Fictionen zuneigen, wenn auch die von ihm angegebenen pyramidalen Gestalten mit denen Epikurs sich durchaus nicht vertragen. Sehr bemerkenswerth ist indessen, wie Plato die Veränderungen im Zustande der Körper dem Feuer und dem Wasser zuschreibt, da — wie er sich ausdrückt — die dichteren nur vom Feuer durchdrungen, die mehr lockern hingegen vom Wasser aufgelöst werden können. Dunkel sind dagegen andere Stellen, in denen er äußert, wie die Elemente durch Aenderung und Mischung der Gestalten in einander übergehen und aus einander entstehen sollen, so daß man eine eigentliche Erklärung der Festigkeit und Flüssigkeit bei ihm vergeblich sucht.

Daß der größte Philosoph des Alterthums, Aristoteles, dessen umfassender Geist in allen Gebieten der Wissenschaft heimisch war, auch namentlich in die tiefsten Fragen der Physik eingegangen sei, läßt sich bei seinem Sinn für Naturforschung nicht anders erwarten. Die Aussprüche, in denen er seine Ansichten über das Wesen und die Formen der Materie äußert, lassen sich folgendermaßen zusammenfassen.

Zur Entstehung der Körper ist vor Allem das Dasein einer allgemein verbreiteten Materie (ὕλη), eines Urstoffs, erforderlich, der indessen nicht etwas an sich, sondern nur die Grundlage des Seienden ist. Dieses erste Princip der Körperwelt ist nun aber mit zwei andern unzertrennlich verbunden, von denen es nicht anders als durch unser Denken geschieden werden kann, nämlich mit dem Princip der Gestaltung und dem der Auf-

hebung (εἶδος καὶ στέρησις). Die ziemlich dunklen Namen, welche Aristoteles hier wählt, lassen unstreitig keine andere als eine dynamische Deutung zu, da sie dem Begriff jener allverbreiteten passiven Materie als das Gestaltende und Gestaltaufhebende, Umbildende entgegengestellt werden. Man kann unter ihnen sich nicht wohl etwas anderes, als eine bildende und wieder aufhebende Kraft denken, da sie zur Erzeugung bestimmter Körper aus dem allgemeinen Urstoff nothwendig sein sollen; eine Vorstellungsweise, welche mit neueren naturphilosophischen Ansichten nahe genug übereinstimmt.

Die Mannigfaltigkeit der Körperwelt läßt sich übrigens nach Aristoteles auf keine Weise durch die Annahme eines einzigen homogenen Urstoffs, sondern nur durch die Annahme verschiedenartiger Elemente erklären. In Uebereinstimmung mit Empedokles nimmt er als solche Feuer, Luft, Wasser und Erde an, aus denen allen (und nicht etwa nur aus einzelnen von ihnen) ein jeder wirkliche Körper bestehen soll. Neben diesen Grundstoffen sollen noch eben so viele Ursachen zur Erzeugung der Körper mitwirken: zwei passive — Trockenheit und Feuchtigkeit — und zwei active — Wärme und Kälte. Die Trockenheit rührt nach Aristoteles von einer überwiegenden Beimischung des erdigen Elements, die Feuchtigkeit von dem Vorherrschen des wässerigen her; gerade hier liege der Grund der harten oder weichen Beschaffenheit der Körper, also des festen oder flüssigen Zustandes derselben. Die Veränderungen der Materie aber schreibt Aristoteles lediglich den beiden activen Principien, der Wärme und Kälte, zu, durch welche nach seiner Ansicht alle Körper allein bestehen. Und zwar sei ihre Einwirkung sich nicht immer gleich, sondern eine andere je nach der Beschaffenheit jedes einzelnen Körpers, also nach der Mischung seiner Elemente. Verdichtung könne einerseits Folge der Kälte sein, welche die Wärme verjage, andererseits aber auch der

Wärme, wenn diese die Feuchtigkeit austreibe. Was erkaltend sich verdichtet, könne nur durch ein Uebermaß von Wärme aufgelöst und flüssig gemacht werden. Die Schwierigkeit, die passiven mit den activen Ursachen der Körpergestaltung zu verbinden, sucht er dadurch zu lösen, daß er die Austrocknung der Wärme oder Kälte zuschreibt und beide als stets in der Feuchtigkeit anwesend voraussetzt. Nach seiner Vorstellung von der Wärme strömt diese aber der Erde von den Gestirnen zu, und wird durch die ungeheure Geschwindigkeit jener Himmelskörper erzeugt. Die mit Heftigkeit von der Sonne durchschnittene und abwärts gedrängte Luft soll auf der Erdoberfläche die Wärme hervorbringen. Mag eine solche Wärmetheorie von der heutigen auch noch so sehr abweichen, so geht doch wenigstens das aus ihr hervor, daß Aristoteles in der Wärme vielmehr eine Kraft, als einen Stoff erblickt. Ebendaher stellt er auch, wo er von der Bildung der Körper redet, die Wärme als actives Princip dem passiven, der Feuchtigkeit, entgegen. Und so reduciren sich bei näherer Untersuchung jene vier Principien, welche der Urmaterie beigesellt werden, im Grunde auf diese zwei, von denen Kälte und Trockenheit nur die Gegensätze bilden. Für den festen Zustand der Körper finden wir also eine materielle, für den flüssigen eine dynamische Ursache angegeben, ohne daß indessen die Art ihrer Wirkung oder der Grund des Uebergangs aus einem Zustande in den andern näher bezeichnet wäre.

Zum Schluß verdient hier von Philosophen des Alterthums nur noch L. Annaeus Seneca erwähnt zu werden, außer T. L. Carus, von dessen trefflichem Lehrgedicht oben die Rede war, der einzige römische Schriftsteller, der in seinen Naturbetrachtungen ausdrücklich auf die Principien der Physik näher eingeht. Doch trifft man bei ihm neben manchen selbstständigen Ansichten oft nur eine Wiederholung dessen, was die Griechen

längst vor ihm ausgesprochen. So scheidet auch er die Materie in vier Elemente, welche in den verschiedenen Körpern verbunden vorkommen sollen, ohne jedoch mit den Atomistikern verschiedene Gestalten der kleinsten Theilchen, noch den leeren Raum anzunehmen. Das Flüssige (Wasser und Luft) gilt ihm — und in der That ist diese Ansicht beachtungswerth — *als eine eng* verbundene Masse durchaus ungetrennter Theile, während die festen (erdigen) Körper von flüssigen durchdrungen werden. An einem andern Orte spricht Seneca aus, daß die Wärme die Körper verdünne, die Kälte sie zusammenziehe und das Feuer sie verändere, ohne sich jedoch über die Art und Weise auszulassen, wie dies geschehe. Nach dem Vorgange Plato's, dem er auch in der Annahme einer das Weltall durchdringenden Lebenskraft beipflichtet, faßt er Kälte und Feuchtigkeit als Gegensatz des Feuers zusammen, indem er diesem und dem Wasser die Herrschaft über die irdische Körperwelt zuerkennt, — *ein* Ausspruch, der — wie so manche andre dieses Philosphen — durch die späteren Entdeckungen der Wissenschaft eine ungeahnte Bestätigung gefunden. Keiner hat, gleich ihm, die Dürftigkeit in der Naturkenntniß seiner Zeit so deutlich erkannt und ausgesprochen, Keiner so entschieden auf die überraschenden Fortschritte späterer Generationen hingewiesen, denen offen vor Augen liegen werde, was ihm und seinen Zeitgenossen noch in Dunkel gehüllt sei.

II.

Ansichten aus neuerer Zeit.

Wie wenig in jenen Zeiten, wo die kriegerische Gewalt des Ritterthums mit der berechnenden Klugheit der päpstlichen Hierarchie um die Herrschaft stritt, eine ruhige und sinnige Naturbetrachtung Eingang und Pflege finden konnte, wird einem Jeden sehr bald deutlich werden, der den Character des Mittelalters aus dessen eigenen litterarischen Zeugnissen kennen zu lernen sucht. Wo — wie in den Zellen der Klöster — der Forschungsgeist einzelner Denker Muße fand, richtete er sich auf theologische und metaphysische Speculationen: die Natur erschien als ein der Betrachtung und Forschung viel zu unwürdiger Gegenstand. Ja, der durch die mönchische Ascetik immer weiter getriebene Zwiespalt und Gegensatz zwischen der sinnlichen und übersinnlichen Welt, der Erde und dem Himmel, führte in seiner äußersten Consequenz endlich dahin, jene, d. h. die Materie mit den ihr innewohnenden Kräften, dem bösen Geiste als Eigenthum zuzuweisen. Nachdem solche Vorstellungen einmal Wurzel geschlagen, gehörte in der That nicht allein ein sehr entschiedener innerer Trieb sondern zugleich ein nicht ungewöhnlicher Muth dazu, Sinn und Geist einer so gefährlichen und verrufenen Beschäftigung zuzuwenden, die nach dem herrschenden Volksglauben unvermeidlich zur Gemeinschaft mit dem Teufel führte. Bei Erwägung dieser Umstände muß man die naturwissenschaftlichen Bestrebungen eines Albertus Magnus, Roger Baco, Peter von Albano und einiger Anderer, die von den Zeitgenossen der Hexerei beschuldigt wurden, als höchst verdienstlich auch dann anerkennen, wenn sie in ihrer Unklarheit dem eigentlichen Verständniß auch wenige oder gar keine Befriedigung gewähren können.

Ueber das Wesen der Materie und ihre Formen finden wir in späterer Zeit die ersten ausdrücklichen Betrachtungen bei dem Italiener Telesius (1508—1588 n. C.), einem ausgezeichneten philosophischen Kopfe, der seinen ganzen Fleiß auf Erforschung der Natur wandte. Wärme und Kälte sind ihm die unkörperlichen, activen Principe, die Materie dagegen die passive, substanzielle Grundlage alles Körperlichen. Die Wärme, ihrer Natur nach das Bewegliche, dehnt nach ihm die Körper aus, während die Kälte, das Unbewegliche, sie zusammenzieht und verdichtet. Er betrachtet die Expansion und Contraction der Materie als Grundeigenschaften derselben und jede Formänderung als eine Folge des Wechsels der Wärme, deren Wesen sich aber freilich nicht weiter erläutern lasse. Die vier Elemente der Alten verwirft er und hält sich an den Gegensatz von Erde und Himmel, aus denen — man erfährt freilich nicht, wie — die Existenz aller einzelnen irdischen Körper hervorgehen soll.

Sein Anhänger Thomas Campanella (1568—1639), der mehr auf andern Gebieten als auf dem der Naturforschung sich einen bedeutenden Namen erworben, betrachtet Wärme und Kälte nicht als unkörperliche, sondern als substanzielle Wesen. Daß er Grade der Wärme hinstellt, ist ein sehr wesentlicher Fortschritt in seinen Ansichten: bei'm sechsten jener Grade soll der Körper in den tropfbar flüssigen, bei'm siebenten in den dampfförmigen Zustand übergehen, bei'm achten endlich sich seiner Dünnheit wegen aller sinnlichen Wahrnehmung entziehen.

Bei beiden Philosophen bemerken wir jenen Irrthum, dessen man sich noch viel später nicht zu entschlagen wußte, daß nämlich die Kälte etwas der Wärme entgegenstehendes Reales sei; ein Irrthum, der die Einsicht in die Gründe der Formänderung der Körper nothwendig sehr trüben und verwirren mußte. Diese Auffassung der Kälte verleitete Telesius zu der ungereimten Hypothese, ihr Wesen liege in der Unbeweglichkeit,

wie das der Wärme in der Beweglichkeit. Wenn Campanella meint, beider Einwirkung auf die Körperwelt besser aus ihrer substanziellen Beschaffenheit erklären zu können, so hält er sich in Wahrheit doch nur an die Erscheinung, ohne auf den eigentlichen Grund derselben einzugehen und eine wirkliche Erklärung der Phänomene der Cohäsion, Schmelzung, Auflösung und Verflüchtigung zu versuchen.

Bei Fr. Baco von Verulam (1561—1626), der im Gegensatz einer bloß metaphysischen Speculation zuerst mit aller Entschiedenheit den Weg der Erfahrung, der sinnlichen Beobachtung, als denjenigen bezeichnete, von welchem allein die Naturwissenschaft Förderung zu erwarten habe, finden wir eine augenfällige Hinneigung zur Demokritischen Atomenlehre. Er findet wenigstens den Begriff kleinster, untheilbarer Körpertheilchen sehr bequem zur Erklärung der Naturerscheinungen, wenn er auch die anderweitigen Annahmen der Atomistiker von einer zufälligen oder gezwungenen Bewegung, von dem Widerstreit und der Freundschaft der Atome verwirft. Dagegen schreibt er der Materie Triebe und Neigungen (appetitus, inclinationes sive passiones) zu, womit am Ende doch nur andere bildliche Ausdrücke für Kräfte gesetzt sind. Er behauptet eine allgemeine Bewegung alles Körperlichen, das weder im Ganzen noch in seinen Theilen in Ruhe sein könne. Freilich beharre das Feste, verglichen mit dem Flüssigen, immer Beweglichen in anscheinender Ruhe: aber die Schwere treibe beide abwärts und die Theilchen der festen Körper würden ebenfalls diesem Zuge folgen, wenn sie nicht von dem Triebe nach Zusammenhang oder der Scheu vor Trennung (appetitu continuitatis sive separationis fuga) zusammengehalten und zurückgezogen würden. Derselbe Trieb, wenn auch in schwächerem Grade, sei nicht minder in tropfbaren Flüssigkeiten enthalten, wie die runde Form der Wassertropfen dies beweise. Was ihn aber eigentlich fördere oder schwäche,

werde dem Forscher nicht klar. Er meint, daß Körper bei der Berührung eines befreundeten oder ähnlichen Körpers sich *auflösen*, bei der eines abweichenden hingegen sich *zusammenziehen* und um so dichter oder fester werden. Da er bei jener Assimilation, die dem Begriff der chemischen Mischung und Auflösung entspricht, das Flüssigwerden der Aufnahme befreundeter Körper so wie auch der Wärme zuschreibt, kommt er in der That den Vorstellungen der gegenwärtigen Physik nahe genug, wie mangelhaft er sich auch hinsichtlich der wirkenden Kräfte ausdrückt.

Auf einem völlig abweichenden Wege der Naturbetrachtung finden wir René Descartes oder Cartesius (1596–1650), der von seinem Hange zur Speculation sich hinreißen ließ, ein fingirtes aber mathematisch so consequentes Natursystem aufzustellen, daß dasselbe bei seinen Zeitgenossen Bewunderung und die glänzendste Aufnahme fand. Die Materie, welche nach ihm in der Ausdehnung besteht, soll in drei Arten von *Elementen* zerfallen. Die erste Art derselben, von unendlicher Kleinheit, bildet den Stoff der Fixsterne. Die zweite von runder Gestalt, und wenn auch sehr klein doch von einer bestimmten Größe, erfüllt in der höchst flüssigen Form des Aethers die Räume zwischen den Himmelskörpern; die Elemente der dritten Art endlich bilden die Erde nebst den andern Planeten und ihre Atmosphären. Aus diesen an Gestalt und Größe von einander abweichenden Partikeln bestehen nach Cartesius alle irdischen Körper, während jene Elemente der zweiten Art die feinen Zwischenräume derselben durchdringen und erfüllen. Jede Veränderung der Materie aber oder Verschiedenheit ihrer Gestalten schreibt er der Bewegung zu. Die Erscheinung, daß flüssige Körper der Bewegung so leicht Folge leisten, während die Theile der festen nicht ohne eine die Cohäsion überwiegende Kraft von einander getrennt werden können, glaubt er in folgender Weise erklären zu können. Es sei kein Hinderniß vorhanden, daß da,

wo Alles in Bewegung sich befinde, jede verlassene Stelle sogleich von anderer Materie ausgefüllt werde, wogegen das einmal Ruhende nicht ohne eine bestimmte Gewalt aus seiner Stelle vertrieben werden könne. Die Flüssigkeit der Körper deute also auf viele nach allen Richtungen bewegte Theilchen, die Festigkeit auf deren ruhiges Beharren neben einander.

Im weitern Verfolg der von ihm angenommenen allgemeinen Bewegung der Materie erklärt Cartesius die Wärme — welcher augenscheinlich die Veränderung der Körper zuzuschreiben sei, — für einen vom Sonnenlicht ausgehenden bewegteren Zustand der irdischen Elemente. Das Licht beruht nämlich nach ihm in der Gewalt, mit welcher die aus den Elementen der ersten Art bestehende Materie von dem Centrum der Sonne zurückzuweichen gezwungen wird. Durch die Einwirkung der Wärme werde die Lage der Theilchen in den Körpern geändert und die Bewegung derselben beschleunigt, wodurch die Verdünnung entstehe; durch Kälte dagegen werde die Bewegung vermindert und der Körper verdichtet. Ein Gegner der atomistischen Lehre tadelt er die Annahme eines leeren Raumes und behauptet, es müsse alle Bewegung der Elemente nothwendig eine kreisförmige sein, weil nur auf diese Weise der Raum stets von Materie vollständig erfüllt werden könne. In Beziehung auf die verschiedenartige Beschaffenheit der Körper äußert er, das Feste bestehe aus gar ungleichen Theilchen, das Tropfbar-Flüssige aus nadelförmigen und das Luftförmige aus federartigen Partikeln, die bei rascherem Umschwunge sich weiter ausdehnen sollen.

Das System des Cartesius bietet, wie man leicht erkennt, der Kritik dieselben Blößen, wie die von ihm angefochtene Lehre der Atomistiker. Beide bewegen sich in Erfindungen der Einbildungskraft und behaupten als unwidersprechliche Wahrheit, was durch Erfahrung weder erkannt noch widerlegt werden

kann. Doch läßt sich den Hypothesen des Cartesius ein ungemeiner Scharfsinn durchaus nicht absprechen und namentlich seine Annahme eines raumerfüllenden und körperdurchdringenden Aethers hat in der Undulationstheorie der Lichterscheinungen heutigen Tags eine auffallende Stütze gefunden. Sehr ungenügend erscheint dagegen seine oben erwähnte Erklärung von der physischen Formverschiedenheit der Materie. Die Begriffe von Ruhe und Bewegung reichen sicher nicht aus, den Unterschied in der Cohäsion fester und flüssiger Körper begreiflich zu machen. Der flüssige Zustand verlangt eine Beweglichkeit, nicht aber eine wirkliche Bewegung der Theilchen, der feste hingegen ihren mehr oder weniger gewaltsamen Zusammenhang, welcher aus einer bloßen Ruhe derselben nicht erklärlich wird.

Unbefriedigt von dem physikalischen System des Cartesius wandte sich Peter Gassendi (1592—1655), sein Zeitgenosse und Landsmann, wieder dem der Atomistiker zu, das er für allein der Natur entsprechend hielt. Als Bestandtheile der Flüssigkeit nimmt er daher höchst kleine Kügelchen an, völlig getrennt und beweglich um einander ohne die mindeste Cohärenz, während er die Festigkeit der sehr unregelmäßigen, hakenförmig eingreifenden Gestalt der Atome zuschreibt. Auch den Wärmeatomen legt er die runde, denen der Kälte aber die tetraedrische Form bei. Diese Atome von ganz besonderer Natur sollen eine Aenderung in den Körpern hervorbringen, indem sie in deren feinste Poren eingehen und sich mit ihren kleinsten Theilchen vermischen. Nach seinem Vorgeben ist es nämlich die nothwendige Wirkung der Atomformen, daß die sphärischen die Körper auflösen und schmelzen, die pyramidenartigen dagegen sie zusammenziehen und zum Erstarren bringen sollen. In dieser ganzen Vorstellungsweise, welche nicht allein an dem Gegensatz verschiedener Atome der Wärme und Kälte festhält, sondern auch die Zusammenziehung der Körper durch ein Eindringen der Kälteatome er-

klärt, kann man in Vergleich zu Cartesius Ansichten nur einen entschiedenen Rückschritt erkennen.

Den Beschluß in der Reihe der großen Denker des 17. Jahrhunderts, welche in die Natur einzudringen und die Gestaltung der Materie begrifflich darzulegen bemühet waren, möge G. W. Leibniz (1646—1716) machen, der in seinen physikalischen Grundansichten einen höchst eigenthümlichen Standpunkt, gleich entfernt von den Atomistikern wie den Dynamisten einnimmt. Er construirt die Materie aus Monaden oder substanziellen Einheiten, an sich ohne Gestalt und Theile, aber mit Perception begabt. Diese sollen sich in unermeßlicher Menge um eine Centralmonade (bei den Thieren um die Seele) sammeln und bestimmte Körper bilden, wobei freilich die Art und Weise solcher Bildung unerörtert bleibt. An einem andern Orte (in seiner Schrift: **Hypothesis nova physica**) stößt man auf einen Erklärungsversuch, der sich mehr in rein physikalischen Vorstellungen bewegt, aber freilich eben so ungenügend erscheint.

Uranfänglich — behauptet Leibniz hier — seien durch Erhitzung und Schmelzung vermöge der Wärme und des Lichtes unzählige Blasen, verschieden an Größe und Dicke, entstanden. In ihnen erblickt er die Grundlage aller Verschiedenheiten, die wir in der Körperwelt wahrnehmen und nennt sie daher deren Keime (**semina rerum**). Er unterscheidet dabei natürliche oder gewöhnliche und gewaltsame oder außergewöhnliche, unter denen er wegen ihrer großen elastischen Kraft die Dämpfe versteht. Beide Arten von Blasen zerfallen ihm wieder in dicke und dünne, oder wässerige und erdige (glasige). Unter Flüssigem versteht er eine bewegliche und bildsame Anhäufung jener wässerigen Blasen, die Cohäsion in festen Körpern erklärt er aus einem gegenseitigen Druck ihrer Theilchen. Er fügt hinzu, daß diese Erscheinung ebensowohl als die Härte der Körper auf einem unerklärbaren Mechanismus, durch eine innere Bewegung der

Theile hervorgebracht, beruhe. Und diese innere Bewegung betrachtet er als eine Wirkung des Lichts, dessen Gewalt stark genug sein soll, um die Himmelskörper in ihren Bahnen um die Sonne zu führen.

Wie unbefriedigend, ja verworren und unzusammenhängend die Ansichten, welche Leibniz an verschiedenen Orten über die Materie und ihre Zustände ausspricht, uns auch erscheinen mögen: es geht wenigstens dies klar aus ihnen hervor, daß weder die Fictionen der Atomistiker noch die Wirbel des Cartesius ihn befriedigten, sondern daß er nach andern und tiefergehenden Gründen der Erscheinungen suchte. Newton, sein großer Zeitgenoß, war zu scharfsichtig, als daß er nicht das Bedenkliche von Erklärungen und Begriffsbestimmungen durchblickt haben sollte, welche nur zu leicht zu augenscheinlichen Widersprüchen führen und dabei keiner directen Bestätigung fähig sind. Aus diesem Grunde verzichtete er denn gänzlich darauf und sprach von Kräften der Natur überhaupt nur wie von rein mathematischen Hypothesen.

Erst seit dem Beginn des achtzehnten Jahrhunderts sehen wir die Naturwissenschaften den schon längst von Baco von Verulam ihnen vorgezeichneten Weg der experimentellen Forschung mit Entschiedenheit verfolgen, welcher sie zu immer reicheren Entdeckungen geführt hat und noch weiter führen wird. Die vereinzelten Zweige des physikalischen Wissens, die Lehren der Statik und Mechanik, die Erfahrungen über Licht, Wärme, Electricität und Magnetismus werden allmählig zusammengestellt, in ein leidlich geordnetes System gebracht, und geschickte Experimentatoren decken durch den augenscheinlichen Beweis ihrer Versuche den erstaunten Zuhörern die verborgenen Geheimnisse der Natur auf. Es sei statt vieler Anderer hier nur des Abbé Nollet gedacht, der nicht allein die Pariser vornehme Welt durch seine eleganten physikalischen Apparate belehrt, sondern uns auch in seinen Leçons de physique expérimentale ein noch immer

schätzbares Werk hinterlassen hat, welches uns von dem Zustande, in welchem die Physik vor hundert Jahren sich befand, das deutlichste Bild liefert.

Die darin von ihm ausgesprochenen Ansichten über Wesen und Gestaltung der Materie wiederholen sich in den meisten physikalischen Schriften jener Zeit. Sie schließen sich, wie man nicht anders erwarten wird, möglichst genau an die Beobachtung, können aber freilich der Speculation nicht ganz entrathen, wie sehr sie sich auch von derselben frei zu erhalten suchen. Die Materie als das Raumerfüllende, Undurchdringliche (le solide), besteht aus kleinsten Theilen (molécules), die indessen nicht als absolut untheilbar, d. h. als eigentliche Atome angesehen werden dürfen, und ihrer Beschaffenheit nach in verschiedenartige Elemente zerfallen. Aus ihnen, als den durch die Hand des Schöpfers gegebenen Urstoffen, bildet sich in ihrer unendlichen Mannigfaltigkeit die uns umgebende Körperwelt, deren Veränderungen auf wechselnden Trennungen und Verbindungen jener Elemente beruhen. Dichter zusammengedrängt geben die s. g. Molecüle die festen, im mehr getrennten und gelockerten Zustande dagegen die flüssigen Körper. Ganz dieselbe Vorstellung finden wir auch bei dem berühmten holländischen Physiker Musschenbroek, dem die Flüssigkeit als Anhäufung von festen oder harten Körperchen gilt, die nur ihrer Kleinheit wegen von den menschlichen Sinnen nicht wahrgenommen werden können. Er leugnet es geradezu, daß ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Festen und Flüssigen Statt finde, indem er sich auf die allmähligen Uebergänge dieser Zustände in weichen und zäheflüssigen Körpern beruft.

Nicht ohne Interesse ist es übrigens, daß Nollet, wo er vom Fest- oder Flüssigwerden der Körper spricht, zu dem Aether seine Zuflucht nimmt, dessen nothwendige Existenz der geniale Huyghens, namentlich durch seine unübertrefflichen optischen

Untersuchungen, darzuthun versucht, und welchen der holländische Physiker Hartsoeker als erstes Element der Materie eingeführt hatte. Dieser (von Nollet als air subtil bezeichnete) Aether soll durch seinen Druck von außen und von innen, durch das Mehr oder Weniger der dadurch erzeugten Trennung der soliden Theilchen des Körpers, dessen festen oder flüssigen Zustand und den Wechsel beider herbeiführen, obwohl er auch zum Theil die Wärme (le feu) als Ursache der Erscheinung bezeichnet. Zu einer solchen Betrachtungsweise scheint Malebranche durch seine Behauptung, daß der Druck einer ätherischen Alles durchdringenden Flüssigkeit zur Erklärung der verschiedenen Körperzustände erforderlich sei, Veranlassung gegeben zu haben; eine Ansicht, welche ebenfalls von Jacob Bernoulli mit großer Gelehrsamkeit verfochten und nach seiner Meinung durch die mannigfachsten Erfahrungen bewiesen wird.

Der großen Zahl jener Physiker gegenüber, welche — *wesentlich* in Uebereinstimmung mit den vorstehenden Ansichten — alles Körperliche aus festen, bald nahe zusammengedrängten bald weit zerstreueten Molecülen bestehen lassen, macht sich indessen zu gleicher Zeit bei Andern eine mehr dynamische Ansicht von der Materie und ihren Formen geltend. In den Elementen der Physik von s'Gravesande, einem Zeitgenossen Nollet's, werden die Erscheinungen auf die Begriffe anziehender und abstoßender Kräfte zurückgeführt, welche von der gegenseitigen Entfernung der materiellen Theilchen abhängen. Durch Ueberwiegen der Attraction wird der feste, durch Vorherrschen der Repulsion der flüssige Zustand der Körper bedingt. Nimmt die letztgenannte Kraft — gewöhnlich nur in Folge einer Erhöhung der Wärme — überhand, so findet nicht nur Schmelzung, sondern sogar Verflüchtigung des Körpers Statt. — Fand eine solche, durch Newton's Gravitationstheorie wohl zunächst veranlaßte Betrachtungsweise, welche an die

Stelle der gewöhnlichen materiellen eine dynamische Erklärung der physischen Formen setzte, auch wenig Anklang bei den damaligen Empirikern, so gelangte sie doch später zu weitverbreiteter Geltung, als sie von Kant philosophisch begründet und ausgeführt wurde.

Dieser durch seinen Scharfsinn so berühmte Philosoph, unbefriedigt durch die Atome des Epikur, wie die Wirbel des Cartesius und Leibnizens einfache Substanzen, spricht sich nämlich dahin aus, daß die Materie nicht durch ihr bloßes Dasein, sondern durch eine ursprüngliche Kraft den Raum erfülle, welcher eine andere Kraft entgegenwirken müsse, wenn Beschränkung auf einen bestimmten Raum die Folge sein solle. Die Attraction wirkt nach Kant von einem materiellen Theilchen auf alle umliegenden, noch in bestimmter Entfernung, die Repulsion dagegen nur an der Oberfläche der unmittelbar berührenden Theile. Die Cohäsion gilt ihm als eine secundäre, lediglich in der Berührung wirkende Anziehungskraft. Den Charakter des Flüssigen setzt er in die Beweglichkeit der Theilchen, wie groß die Cohäsion auch sei; des Festen dagegen in die Unbeweglichkeit derselben, welche zu ihrer Verschiebung eine Kraftanstrengung erfordere, während in einer Flüssigkeit der Widerstand, welchen die Theilchen einer solcher Verschiebung entgegensetzen, stets null sei. Wie aber in manchen Körpern, obgleich die Cohäsion ihrer Theile nicht beträchtlich sein möge, diese einer solchen Verschiebung einen Widerstand entgegensetzen, der nur durch eine vollständige Flächentrennung überwunden werden könne: wie mit andern Worten feste Körper möglich seien, gesteht Kant nicht erklären zu können.

Von den späteren Philosophen, welche die Naturwissenschaften in den Kreis ihrer Speculationen gezogen, möge nur Schelling hier ausdrücklich erwähnt werden, der mit Kant die Materie ebenfalls aus Kräften construirt, aber die Körper

als ihre aus der Erfahrung nur erkennbare, zufällige Begränzung betrachtet. Diese Begränzung ist nach ihm eine Folge der Cohäsion, die er als dynamische, mechanische, chemische und organische unterscheidet. Die chemische Cohäsion, ein Ergebniß der Vereinigung zwei verschiedener Substanzen zu einer dritten, schreibt Schelling dem Zustande der Flüssigkeit zu, der sich durch völlige Continuität im Gegensatz einer bloßen Nebeneinanderlagerung der Theile von dem Zustande der Festigkeit auf das Bestimmteste unterscheide. Dieser sei vielmehr die Wirkung der mechanischen Cohäsion, die auf der Gestalt der kleinsten Theilchen und deren Reibung beruhe, aber selten allein, sondern mehr oder weniger mit der chemischen Cohäsion verbunden vorkomme.

Die hier in gedrängten Umrissen gezeichneten Ansichten der beiden deutschen Philosophen, mit denen die früher erwähnten des Telesius, und selbst die des Aristoteles eine bemerkenswerthe Aehnlichkeit zeigen, wenn man sich den Sinn ihrer zum Theil dunkeln Ausdrücke klar zu machen sucht, gewähren dem Denker in manchem Betracht unstreitig eine viel größere Befriedigung, als die entgegenstehenden der Atomistiker. Dies gilt namentlich von dem entschiedenen und begriffsmäßigen Gegensatze des festen und flüssigen Zustandes der hier nicht etwa auf eine bloße Formverschiedenheit oder nähere und weitere Entfernung der Theilchen zurückgeführt wird, so wie von der Aufnahme des Begriffs ursprünglicher Kräfte in den der Materie. Da die Cohäsion durch diese Grundkräfte aber unerklärt gelassen und als ein unabhängiges drittes hinzugefügt wird, das sich nach zufälligen Bestimmungen verschieden zeigt, so bleibt immer noch die Frage nach dem Grunde dieser weiteren Verschiedenheit unbeantwortet. Am wenigsten aber befriedigt Kants endlicher Ausspruch, daß man sich von der Ursache der Festigkeit durchaus keine klare Vorstellung bilden

könne, so daß man es dem Empiriker kaum verargen wird, wenn er sich von solchen „unfruchtbaren Speculationen“ gleichgültig abwendet.

Die auf sorgfältige Beobachtung gegründete Naturforschung der neueren Zeit schien in der That von den Behauptungen der genannten Philosophen weit abzuführen. Namentlich war es der als ausgezeichneter Mineralog bekannte französische Physiker Hauy, der durch seine Erklärung der verschiedenen Krystallformen aus der geometrischen Gestalt der Elementartheilchen (molécules intégrantes) der atomistischen Grundansicht großen Vorschub leistete, die noch von manchen andern ältern Physikern des Jahrhunderts festgehalten war. Ich will von diesen nur beispielsweise Boscovich anführen, der ganz nach Weise der Alten sich Atome von allerlei Gestalten erdichtet, wie sie gerade für seinen Zweck passen, und dieselben mit solchen attractiven und repulsiven Kräften ausstattet, wie er sie für seine Erklärungen nur wünschen mag. Von einem freilich noch viel bedeutenderen Einfluß auf die Erhaltung jener älteren Ansichten mußte der große Euler sein, der in seiner Abhandlung: **Sur la nature des moindres parties de la matière** ebenfalls den Grundvorstellungen der atomistischen Theorie huldigt, wenn er auch den Ausdruck Molecüle für Atome gebraucht.

So darf es uns denn nicht befremden, wenn wir am Ende des achtzehnten Jahrhunderts in den Lehrbüchern der Physik über Wesen und Gestaltung der Materie Ansichten entwickelt finden, welche zwischen den einander bekämpfenden Systemen, von welchen vorhin die Rede gewesen, gewissermaßen die Mitte einnehmen, indem sie die Materie allerdings als die ursprünglich gegebene Substanz alles Körperlichen, aber den Begriff einer innewohnenden Kraft zugleich als ihr wesentlich angehörig betrachten. Hier stoßen wir nun allerdings sogleich auf eine Verschiedenheit, indem die Einen nur eine Grundkraft,

die Attraction, wollen gelten lassen, da die Wärme ihnen als genügende Gegenkraft derselben gilt, während Andere, unabhängig von derselben noch eine ursprüngliche Repulsivkraft der kleinsten Theilchen annehmen zu müssen glauben. Jene Meinung vertritt u. A. Biot, indem er sich auf die allbekannten Erfahrungen über die Wirkungen der Wärme beruft, welche die Materie aus dem festen in den tropfbaren und aus diesem bei weiterer Steigerung in den luftförmig-elastischen Zustand versetzt. Er hält sich hiernach zu dem Schlusse berechtigt, daß die Formverschiedenheit der Materie lediglich in dem Zustande der Cohäsion, und dieser wiederum in dem Verhältniß ihrer ursprünglichen Attraction zur Repulsion der Wärme liege und daher durch die einfache Formel $a - r = x$ bezeichnet werden könne, wo die Annahme $a > r$ dem festen, $a = r$ dem tropfbaren, und $a < r$ dem gasförmigen Zustande der Materie entspreche.

Dem Einwurfe, daß nach dieser Erörterung der *tropfbar*-flüssige Zustand nur ein momentaner sein könne und bei dem geringsten Uebergewicht der Repulsivkraft ein fester Körper sich plötzlich in einen gasförmigen verwandeln müsse, sucht Lavoisier durch Hinweisung auf den — die Verflüchtigung hindernden — Druck der atmosphärischen Luft zu begegnen; die Beseitigung des Bedenkens aber, daß Biot's Behauptung keineswegs von allen Körpern gelte, übernimmt der berühmte Laplace, indem er (in seiner **Exposition du système du monde**) hervorhebt, wie es nur einer Annäherung der Erde zur Sonne bedürfen würde, um durch angemessene Erhitzung die festesten Körper in den tropfbaren und gasförmigen Zustand zu versetzen, oder einer weiteren Entfernung, um andere Körper aus diesen Zuständen in den festen überzuführen.

Aber wie sehr sich diese Ansichten der französischen Naturforscher (im Grunde nur eine Wiederholung der von s'Gravesande aufgestellten) auch durch ihre große Einfachheit und

Allgemeinheit empfehlen mögen, lassen sie bei näherer Betrachtung doch immer noch das Problem ungelöst, welches der große Königsberger Philosoph nicht bewältigen zu können gestand: die Festigkeit der Körper bleibt damit im Grunde unerklärt, wenn man nicht (aller Erfahrung entgegen) annehmen will, daß die Masse fester Körper durchgängig wie die der flüssigen, ein Continuum bilde. Ist es doch gerade die eigenthümliche Lagerung und Gruppirung der kleinsten Theilchen, was jene von diesen hauptsächlich zu unterscheiden scheint; eine Eigenthümlichkeit, welche besonders an den regelmäßigsten derselben, den Krystallen, in augenfälligster Weise hervortritt.

Wie schon ein Physiker früherer Zeit — der (durch seine Beobachtungen eines auf glühendem Metall rollenden Wassertropfens) bekannte Leidenfrost — bemerkt, findet dann ein Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand Statt, wenn verschiedenartige dünne Schichten der Flüssigkeit sich lamellenartig über einander legen, wie dies z. B. bei der Bildung einer Seifenblase geschieht. Dieser Gedanke ist am gründlichsten von Link verfolgt und ausgebildet worden, dessen Ansichten sich etwa folgendergestalt kurz zusammenfassen lassen.

Nicht die feste, sondern die flüssige Form ist die der Materie ursprüngliche; denn nur in dieser zeigt sich die größte Gleichartigkeit und überall das vollkommenste Gleichgewicht aller ihrer Theile. Der feste Körper hingegen, wie gleichartig er auch dem Auge erscheinen möge, zeigt sich demselben unter dem Mikroskop als ein Aggegrat getrennter Lamellen oder Fasern, welche sich bei'm Uebergange aus dem Flüssigen in den festen Zustand gebildet haben. Mit Hinweisung auf die bekannte Thatsache, daß die Trennung der Theile nicht mit derselben Leichtigkeit an der Oberfläche wie im Innern einer Flüssigkeit vor sich geht, weil dort eine einseitige Anziehung derselben Statt findet, glaubt nun Link die Lösung des Räthsels

der Festigkeit gefunden zu haben. Denn denke man sich den festen Körper aus einer großen Anzahl sehr dünner Oberflächen gebildet, so müsse der Widerstand, den die Flüssigkeit der Trennung der Theile an ihrer Oberfläche entgegensetzt, hier sich eben so oft wiederholen, als sich die Dicke jener Schicht in der des Körpers wiederhole. Dieser bestehe demnach aus einer sehr großen Anzahl Lamellen oder Fasern, in denen sich Alles wie in der Schicht, welche die Oberfläche einer Flüssigkeit bildet, verhalten werde, und von der Zahl solcher Schichten hange die Härte und Sprödigkeit des festen Körpers ab.

Die hier geschilderte Ansicht läßt mehrfache Einwürfe zu. Daß ein fester Körper sich aus dünnen Lagen zusammensetzt, welche entstehen, indem die Theilchen sich parallel nach bestimmten Flächenrichtungen gruppiren, kann uns keineswegs zu der Schlußfolge drängen, daß jene Flüssigkeits-Oberflächen seien, da ja dann Flüssiges unter ihnen vorhanden sein müßte. Ganz abgesehen davon erscheint aber auch Link's Erklärungsweise schon aus dem Grunde unzureichend, weil er — gestützt auf die Beobachtung krystallisirender Körper — auf andere Enstehungsarten (z. B. Erstarrung geschmolzener Massen) nicht die gebührende Rücksicht nimmt. Jedenfalls bleibt damit die Festigkeit einer compacten, dem Auge als continuirlich erscheinenden Masse (z. B. von Glas, Harz, Metall) unerklärt, obgleich Biot uns gern vom Gegentheil überzeugen möchte, indem er in diesem Falle nur eine veränderte Lagerung der Molecüle annimmt. Es scheint, daß wir — statt auf eine generelle Erklärung der Festigkeit auszugehen — vielmehr specifische Verschiedenheiten ihres Grundes aufzusuchen haben, da in der Beschaffenheit des Zusammenhanges fester Körper eine so wesentliche Abweichung gefunden wird, wie sie der tropfbar flüssige Zustand nicht darbietet. Aber diesen seiner Einfachheit wegen als den primitiven Zustand der Materie anzunehmen, ist immer-

hin eine reine Willkür, da man ja ebensowohl — zumal aus kosmologischen Gründen — den gasförmigen Zustand als solchen betrachten könnte.

Es würde überflüssig sein, die im Vorstehenden gegebene Skizze von Ansichten über das vorgelegte Thema durch Bezugnahme auf physikalische Werke der neuesten Zeit noch erweitern zu wollen; denn was diese in solcher Absicht darbieten, schließt sich im Wesentlichen an die hier geschilderten Auffassungsarten, wenn auch vielleicht mit einigen Modificationen des Ausdrucks. Noch immer, wenn auch zuweilen verhüllt, herrscht der alte Widerstreit dynamischer und atomistischer Abstractionen auf diesem Felde der Naturbetrachtung, und wenn ein Theil der Physiker die Gegensätze beider zu vermitteln scheint, so ist diese Vermittlung bei näherer Prüfung doch mehr eine scheinbare als wirkliche.

Anmerkungen.

Die vorstehende Darstellung gründet sich in ihrem ersten Theile vorzugsweise auf zwei Abhandlungen Bouterweks in den Comment. der Göttinger Societät d. W. nämlich:

1) De primis philosophorum decretis physicis (v. J. 1811).

2) De originibus rationis physicae quae a nostratibus dynamica appellatur, apud veteres philosophos investigandis (v. J. 1814).

Nähere Beweisstellen sind für die angeführten Ansichten von:

den Orphikern: Stobaeus Ecl. phys. cap. XI. (Ed. Heeren. P. I. pag. 279.)

Thales: Ebend. pag. 291. Diog. Laërtius L. 1. C. 1. VI.

Anaximander: Diog. Laërt. L. 2. C. 1, II. Aristoteles Phys. I, 4. III, 4. 7. — De coelo III, 8.

Anaximenes: Diog. Laërt. L. 2. C. 2, I.

Heraklit: Ebend. L. 9. C. 1, VI. Arist. Met. I, 3, 7.—De anima 1, 2.

Empedokles: Arist. Metaph. I, 4. De gen. et corr. I, 1, 8. II, 6.

Pythagoras: Diog. Laërt. L. 8. C. 1, XIX u. XXVII. Arist. Phys. III. 5. — De coelo II. 13.

Anaxagoras: Diog. Laërt. L. 2. C. 3, IV. Arist. phys. I, 4. VIII,

1. De coelo III, 3, 4. De gen. et corr. I, 1. Met. I, 3. T. Lucretius C. de rerum natura V. 830—878.

Leucippus: Diog. Laërt. L. 9. C. 6. Arist. phys. III, 4. VIII, 1. De gen. et corr. I, 7.

Demokrit: Diog. Laërt. L. 9. C. 7. XII. Arist. de gen. et corr. I, 2. 7. De coelo III, 4. 8. De anima I, 2.

Epikur: Diog. Laërt. L. 10. Lucretius de rer. nat. L. II. v. 444 seq. Arist. de coelo III, 8.

Plato: Einzelne Aeußerungen im Timäus.

Aristoteles: Phys. I, 7. 8. 9. De gen. et corr. I, 6. II, 1. 2. 3. 7. De coelo I, 3. III, 5. IV, 5. Meteor. IV, 1. 4 — 8. Vgl. Bouterweks obenerwähnte Abhdlg. v. J. 1814.

Seneca: Quaest. nat. II, 2. 6. 7. 9. III, 10. 12. 13. 15. 28.

Telesius: De natura juxta propria principia. Lib. 1—4.

Campanella: Philosophia realis. P. I (De rerum nat.).

Baco de Verulam: Cogitationes de rerum natura C. 1. 3. 4.

Cartesius: Principia philos. P. II, 23. 54. 55. P. III, 33. 46. 48. 49. 52. 54. 56. 57. 86. Meteor. I, 3. 9. IV, 31. 46. Dioptr. I, 3, 7.

Gassendi: Physica. III, C. 8. V, C. 9. VI, C. 6. 7.

Leibniz: Opera (Ed. Dutens) T. II. P. II, pag. 4. 6. 7. 22. 29. 32. 38. 42. 206. 320. 322.

Hartsoeker: Principes de phys. (1696) Pag. 1. 2. Hugenii Opp. reliqua. T. I, Pag. 97.

Nollet: Leçons de physique expérimentale (1745); T. I. pag. 6—14. Malebranche récherche de la vérité L. VI. Ch. 9. — Iac. Bernoulli Op. T. I. pag. 53. De gravitate aetheris.

s'Gravesande: Phys. elem. math. (1742); pag. 18. 662.

Musschenbroek: Physica experimentalis C. 1.

Boscovich: Theoria philos. naturalis. §§ 236. 450. 451. 452.

Euler: Opuscula varii argumenti; T. I, pag. 287.

Kant: Metaph. Anfangsgründe der Naturw. Dynamik.

Schelling: Ideen zu einer Philosophie der Natur. 2. Buch, Cap. 4, 5, 6. Von der Weltseele pag. 43, 50.

Biot: Traité de phys. expér. T. I. ch. 1. Laplace Système du monde (4°) pag. 132. Lavoisier Traité élément. de chimie. T. I, pag. 7.

Link: Ueber Naturphilosophie. pag. 175.

Atomistik und Dynamik.

[illegible]

Atomistik und Dynamik.

[illegible]

[illegible] Principes de phys. (1696) Pag. [illegible] reliqua. T. I. Pag. 97.

Nollet: Leçons de physique expérimentale [illegible] 6—14. Malebranche recherche de [illegible] — Joh. Bernoulli Op. T. I. pag. 53 [illegible]

s'Gravesande: Phys. elem. math. (1742) pag. [illegible]

Musschenbroek: Physica experimentalis C. 1.

Boscovich: Theoria philos. naturalis, §§ 230. [illegible]

Euler: Opuscula varii argumenti, T. I. pag. 287.

Kant: Metaph. Anfangsgründe der Naturw. Dynamik.

Schelling: Ideen zu einer Philosophie der Natur. 2. Buch, Cap. 4, 5, 6. Von der Weltseele pag. 43, 50.

Biot: Traité de phys. exper. T. I. ch. 1. Laplace Système du monde (4°) pag. [illegible] Lavoisier Traité élément. de chimie. T. I. pag. 7.

[illegible] pag. 175.

Atomistik und Dynamik.

Wie verschiedenartig auch die Auffassungen über die letzten Gründe der Gestaltung der Materie sein mögen, welche die vorstehende Skizze übersichtlich zusammenstellt: im Wesentlichen sind es zwei einander entgegenstehende Theorieen, zu welchen der forschende Geist als nothwendigen Consequenzen getrieben wird, jenachdem er das Fundament der Körperwelt in deren Elementartheilchen, den Atomen, oder vielmehr in stofferzeugenden Kräften sucht. Beide Theorieen, die Atomistik wie die Dynamik, haben im Verlauf des achtzehnten Jahrhunderts eine so vollständige Ausbildung erfahren, daß in der That der Phantasie wie dem Scharfsinn des Physikers wenig hinzuzufügen übrig bleibt; eine nähere Kenntnißnahme derselben wird ihm aber deshalb von Interesse sein, weil unsre Vorstellungen von den allgemeinen Grundlagen und Bedingungen der Körperwelt und ihrer mannigfachen Formen am Ende vorherrschend auf eine von jenen Theorieen hinauslaufen, die schon im griechischen Alterthume sich geltend machten und wie in der Gegenwart auch in der Zukunft ihre Anhänger zählen werden.

Die Atomistik, welche die gemeinsame Grundlage alles Körperlichen, die Materie, als das ursprünglich Gegebene und Vorhandene annimmt, macht es sich zur Aufgabe, die Bildung der verschiedenartigen, zusammengesetzten Körper aus

ihren einfachen Elementartheilchen zu erklären. Zur Lösung dieser Aufgabe nimmt sie ihre Zuflucht zu speciellen Annahmen theils über die Gestalt jener Elementartheilchen, theils über ihre gegenseitige Entfernung und Anordnung, so daß die ganze Betrachtungsweise dieser Theorie weniger die Substanz der Materie als vielmehr die räumlichen Verhältnisse ihrer kleinsten Theile betrifft. Was die Beschaffenheit dieser letzteren anlangt, so erfahren wir darüber freilich nicht viel mehr, als daß sie materielle Punkte seien, die durch Wärme-Atmosphären von einander geschieden werden.

Die Erörterung der gleichen Dichtigkeit aller Körperatome finden wir mit besonderm Scharfsinn von L. Euler durchgeführt. In seinen **Recherches physiques sur la nature des moindres parties de la matière** (**Vol. I** der **Opuscula varii argumenti**) äußert er sich, nachdem er auf die unendliche Verschiedenartigkeit der Körper in Hinsicht auf Farbe, Härte, Weichheit, Elastizität rc. hingewiesen, in folgender Weise über ihre Zusammensetzung aus Atomen oder Molecülen.

„Die Verschiedenartigkeit zweier Körper liegt nicht nothwendig in einer verschiedenen Beschaffenheit ihrer kleinsten Theilchen, sondern vielleicht nur in der Anordnung derselben, da es zweifelhaft erscheint, ob diese einfachsten, unzerlegbaren Theile wirklich von einander verschieden sein können. Die Erfahrung freilich giebt keine entscheidende Antwort auf diese Frage; dagegen sind Schlüsse über das Verhältniß der Masse der Atome zu ihrem Volumen zulässig. Wir dürfen nämlich von dem unbestreitbaren Satze ausgehen, daß die Gewichte der Körper ihren Massen (d. h. der Quantität der Materie, woraus sie bestehen) proportional sind; — ein Satz, der zum Theil auf Erfahrung, zum Theil auf Räsonnement beruht. Jene zeigt, daß alle Körper mit der nämlichen Geschwindigkeit im luftleeren Raume fallen; dieses lehrt, daß um verschiedenen

Massen dieselbe Bewegung mitzutheilen, die dazu verwendeten Kräfte nothwendig den zu bewegenden Massen proportional sein müssen. Es gilt dies also bei'm Fall der Körper ebenfalls von der Schwerkraft als der Ursache ihrer den Massen entsprechendem Gewichte."

Nun sucht Euler aber im Verlauf seiner weiteren Betrachtungen zu deduciren, daß die Kraft, von welcher jedes Elementartheilchen bei'm Fall niederwärts getrieben werde, auch seinem Volumen proportional sein müsse, da die Schwere nichts anderes als die Wirkung eines Fluidums (des von Huygens zuerst aufgestellten Aethers) sei, welches nach dem Princip der Hydrostatik auf alle Körper nach dem Verhältniß ihres Volumens drücke. Aus der Combination beider Sätze folgt dann freilich die gleiche Dichtigkeit der Körperatome; denn wenn die Gewichte einerseits der Masse, andererseits dem Volumen proportional sind, so müssen gleiche Volumina gleiche Massen enthalten.

„Aus dem Umstande aber — fährt Euler fort, daß die uns bekannten Körper in ihrer Dichtigkeit so ungemein verschieden sind, dürfen wir auf keine Weise einen Schluß auf die verschiedene Dichtigkeit ihrer kleinsten Bestandtheile machen wollen. Ist Gold schwerer als Glas oder Holz, so liegt der Grund davon vielmehr in der größeren Anzahl von Molecülen, die dasselbe, verglichen mit diesen Körpern, in dem nämlichen Volumen in sich schließt. Und dennoch ist es porös, und gestattet eine Zusammendrückung. Könnte diese nun so weit getrieben werden, daß alle Zwischenräume verschwänden und eine vollständige Berührung aller materiellen Theile Statt fände, so würde die Dichtigkeit der ganzen Masse derjenigen ihrer Molecüle gleich werden, so daß deren specifisches Gewicht das des Goldes noch weit übertreffen muß. Man kann daraus auf die große Zerstreuung der Molecüle in jenen Körpern schließen,

welche — wie die Luft — ein sehr unbedeutendes specifisches Gewicht besitzen."

„Wird man nun aber — fragt Euler weiterhin — die Molecüle als vollständig von Materie erfüllt (solide), oder vielmehr als porös zu betrachten haben? Die letzte Annahme würde, da die Molecüle nach der obigen Entwickelung als gleich dicht anzusehen sind, zu der höchst unwahrscheinlichen Voraussetzung nöthigen, daß in allen das Verhältniß der leeren Räume zur Masse genau dasselbe sei, was indessen (nach Analogie der zusammengesetzten Körper) der Erfahrung völlig widersprechend genannt werden muß."

In Folge dieser Betrachtungen hält Euler sich denn zu dem Schlusse berechtigt, daß die Molecüle aller Körper kleine solide und homogene Massentheilchen von gleicher Dichtigkeit seien, bei denen eine Verschiedenheit nur in ihrer Gestalt und Größe liegen könne.

So wie Euler an mehr als einem Orte (z. B. in seiner Undulationstheorie des Lichtes) in die Fußstapfen des genialen Huygens tritt, ohne desselben ausdrücklich zu erwähnen, geschieht es auch in den vorstehenden Betrachtungen über die Beschaffenheit der kleinsten Körpertheilchen. Man darf nur die Abhandlung **de gravitatis causa** in den nachgelassenen Schriften (**Opp. reliqua, Tom. I.**) des holländischen Mathematikers lesen, um sich hievon zu überzeugen. Denn dort sucht er, abweichend von der Ansicht, daß die Schwerkraft eine der Materie inhärirende Eigenschaft sei, die Wirkungen derselben in dem Vorhandensein einer äußerst dünnen bewegten Flüssigkeit, des Aethers, welche die Materie nach Maßgabe ihres Volumens nach dem Erdmittelpuncte drücke, indem sie wohl die Zwischenräume, aber nicht die Molecüle der Körper durchdringe. (**Facile transit per interstitia particularum, e quibus coalescunt corpora, non vero per particulas ipsas**).

Man bemerkt leicht, daß die ganze Stärke oder vielmehr Schwäche des Räsonnements, worauf Huygens und Euler ihre Behauptung von der gleichen Dichtigkeit der Atome gründen, in ihrer Ansicht von der Ursache der Schwere beruht. Daß eine feine Flüssigkeit die an sich undurchdringlichen Elementartheilchen der Körper gegen den Erdmittelpunct drücke, begründet ihnen jenen Satz, aus welchem sie dann die wichtige Folgerung ziehen, daß die Substanz aller Körper dieselbe sei und die große Verschiedenheit ihrer Eigenschaften lediglich in der Entfernung und Anordnung der Atome beruhe. Diese ganze Betrachtungsweise aber scheint unzulässig, wenn wir mit Newton annehmen, daß der Materie überhaupt jene Attraction inhärire, welche sich (als Gravitation) nach den neusten Beobachtungen der Astronomie zwischen den Himmelskörpern bis in die unermeßlichsten Entfernungen geltend macht. Und somit bleibt denn die alte Vermuthung in ihrem vollen Rechte, daß die qualitative Verschiedenheit der materiellen Körper in einer solchen ihrer kleinsten Theilchen, also in einer Mannigfaltigkeit der Substanz selbst begründet sei und keineswegs allein in Größenverhältnissen der Atome.

Eine den dynamischen Ansichten sich mehr annähernde Ausbildung der Atomistik finden wir bei den französischen Naturforschern, namentlich bei Laplace und Biot.

Dem Erstgenannten zufolge enthält jeder materielle Körper eine unbestimmte Anzahl von Molecülen, in denen sich die eigentliche Substanz desselben mit einer gewissen Quantität freier Wärme verbindet. Zwei solcher Molecüle wirken nun einerseits attractiv, anderntheils repulsiv auf einander, jenes vermöge ihrer materiellen Substanz, dieses vermöge der in ihnen enthaltenen freien Wärme. Diese im Allgemeinen von dem gegenseitigen Abstande der Molecüle abhängige Attraction und Repulsion soll sich indessen nur für unwahrnehmbare Entfernun-

gen derselben äußern. Nach **Biot's** Ausdruck „setzen sich die Theilchen eines Körpers, durch diese beiden Arten entgegengesetzter Kräfte veranlaßt, von selbst in den Zustand des Gleichgewichts, den die Compensation ihrer Wirkungen zur Folge hat, und rücken näher zusammen oder weiter auseinander, jenachdem die äußern Kräfte, denen man sie aussetzt, die Anziehung oder Abstoßung begünstigen. So bewegen sich und oscilliren auch die Gestirne, welche unser Planetensystem ausmachen, in ihren elliptischen, stets veränderlichen Bahnen, ohne daß der Untergang des Systems oder eine Störung des allgemeinen Gleichgewichts erfolgt. Auf diesen verschiedenen Zuständen des Gleichgewichts der Körpertheilchen beruhen alle secundären und veränderlichen Eigenschaften, wie der gasförmige Zustand, die Flüssigkeit, die Festigkeit, das krystallinische Gefüge, die Härte, die Elasticität u. s. w."

In seiner **Exposition du système du monde** geht Laplace näher auf die Untersuchung der Molecular-Attraction ein. „In den festen Körpern haben — wie er sagt — die Molecüle diejenige Lage, in welcher sie gegen jede Aenderung derselben den größten Widerstand üben. Unendlich wenig aus dieser Lage gebracht sucht jedes Theilchen in Folge der darauf einwirkenden Kräfte dieselbe wiederzugewinnen, und eben hierin hat man den Grund der Elasticität zu suchen. Der Einfluß der **Gestalt** der Molecüle, welcher sich in den Erscheinungen des Gefrierens und der Krystallisation sehr bemerklich macht, nimmt in raschem Verhältniß ab, wenn ihre Entfernung zunimmt, wie wir ein gleiches bei der Attraction der Himmelskörper wahrnehmen. Es scheint mithin, daß der feste Zustand zugleich von der Gestalt wie von der Anziehungskraft der Molecüle abhange, so daß z. B. eine Säure vorzugsweise mit einer bestimmten Base sich verbinde, falls die Molecüle beider ihrer **Gestalt** zufolge in innigere Berührung treten. In einer vollkommenen Flüssigkeit

ist der Einfluß der Form gänzlich null; in einem Gase verschwindet außerdem auch noch die Attraction der Molecüle gegenüber der Repulsion, welche sie durch die Wärme erleiden."

Diesen Ansichten, welche im westlichen Europa ein unbestrittenes Ansehen genossen, standen nun allerdings diejenigen, welche sich in den Schulen deutscher Philosophen herausgebildet hatten, auf's Schroffste entgegen. Hier wurde der Begriff der Continuität der Materie jener Vorstellung entgegengesetzt, nach welcher die Körper in eine Menge getrennter Partikeln zerfallen; statt eines Nebeneinanderliegens untheilbarer Atome nahm man eine gegenseitige Durchdringung von Materien an, welche den Raum stetig erfüllen sollten, unbekümmert um die Unfähigkeit der Einbildungskraft, von solcher gleichzeitigen Erfüllung des Raumes durch zwei verschiedene Substanzen sich eine klare und bestimmte Vorstellung zu machen. Es würde übrigens zu weit und jedenfalls über die eigentlichen Gränzen der Physik hinaus führen, wenn hier specieller auf die betreffenden Ansichten jener späteren Naturphilosophen eingegangen würde, die ohne irgend einen wahrnehmbaren Einfluß auf den wirklichen Fortgang der Wissenschaft geblieben und daher längst in Vergessenheit gerathen sind. Dagegen wird es für den denkenden Physiker stets der Mühe werth sein, von der Art und Weise, wie der große Königsberger Philosoph das Problem der Körperwelt zu lösen unternommen, nähere Notiz zu nehmen, da von ihm in der That die der atomistischen Grundanschauung entgegenstehende dynamische auf die würdigste und scharfsinnigste Weise vertreten wird.

In seinem (bereits im Jahr 1786 veröffentlichten) „metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft" definirt Kant die Materie als das Bewegliche, sofern es einen Raum erfüllt. Einen Raum erfüllen heißt aber nach ihm: allem Beweglichen widerstehen, das durch seine Bewegung in einen

gewissen Raum einzudringen bestrebt ist, und dieser Widerstand der Materie ist nicht etwa die Folge ihrer bloßen Existenz, sondern einer besondern bewegenden Kraft. Es gehört also zunächst zu ihrem Wesen eine Repulsivkraft, wodurch sie der Annäherung anderer Materie widersteht, während umgekehrt auch eine Anziehungskraft in ihr vorhanden sein muß, wodurch sie andere Materie an sich fesselt oder ihre weitere Zerstreuung hindert.

Genauer auf diese Grundbegriffe eingehend sucht Kant nun auszuführen, daß nur diese beiden Kräfte der Materie sich denken lassen und zugleich zur Existenz derselben nothwendig seien. Die Materie erfüllt nämlich nach seiner Behauptung ihre Räume nur durch repulsive Kräfte aller ihrer Theile, d. i. durch eine ihr eigene Ausdehnungskraft, die einen bestimmten Grad hat, über welchen hinaus kleinere oder größere ins Unendliche können gedacht werden. Diese expansive Kraft einer Materie nennt Kant ihre Elasticität; alle Materie ist demnach ursprünglich elastisch, eine Behauptung, welche der streng atomistischen Naturlehre aufs entschiedenste entgegentritt, aber allenfalls mit der Laplac'ischen Molecular-Theorie sich möchte in Einklang bringen lassen. Aus der ursprünglichen Elasticität aller Materie folgert aber Kant ferner mit Recht ihre Compressibilität, weil über jede ausdehnende eine größere bewegende Kraft gefunden werden könne, welche den Raum der entgegenstehenden Materie zu verengern vermöge, für diese also zu einer zusammendrückenden Kraft werde.

Es folgt ganz consequent aus den bisher aufgestellten Sätzen, daß die Materie in's Unendliche zusammengedrückt, aber niemals auf einen Punct reducirt werden könne, so daß jede Ausdehnung derselben aufgehoben würde. Denn zur Zusammentreibung in einen unendlich kleinen Raum würde eine unendlich große zusammendrückende Kraft erfordert, welche unmög-

lich ist. Somit sind zur Constituirung der Materie zwei einander widerstrebende aber begränzte Kräfte wesentlich nöthig. Denn „da alle gegebene Materie mit einem bestimmten Grade der repulsiven Kraft ihren Raum erfüllen muß, um ein bestimmtes materielles Ding auszumachen, so kann nur eine ursprüngliche Anziehung im Conflict mit der ursprünglichen Zurückstoßung einen bestimmten Grad der Erfüllung des Raums, mithin Materie möglich machen; es mag nun sein, daß der erstere von der eigenen Anziehung der Theile der zusammengedrückten Materie unter einander, oder von der Vereinigung derselben mit der Anziehung aller Weltmaterie herrühre."

Kant setzt die Bedeutung seiner dynamischen Begriffsbestimmung der Materie nun wesentlich in den Unterschied zwischen der relativen und der absoluten Undurchdringlichkeit derselben, indem er unter dieser die Voraussetzung, daß die Materie gar keiner Zusammendrückung fähig sei, versteht, während jene auf dem Widerstande beruht, der mit den Graden der Zusammendrückung proportionirlich wächst. Ueber diesen wichtigen Punct der dynamischen Erfüllung des Raumes äußert er sich weiter in folgenden Worten:

„Nach dem bloß mathematischen Begriffe der Undurchdringlichkeit (der keine bewegende Kraft als ursprünglich der Materie eigen voraussetzt) ist keine Materie einer Zusammendrückung fähig, als so fern sie leere Räume in sich enthält; mithin die Materie als Materie widersteht allem Eindringen schlechterdings und mit absoluter Nothwendigkeit. Nach unserer Erörterung dieser Eigenschaft aber beruht die Undurchdringlichkeit auf einem physischen Grunde; denn die ausdehnende Kraft macht sie selbst, als ein Ausgedehntes, das seinen Raum erfüllt, erst möglich. Da aber diese Kraft einen Grad hat, welcher überwältigt, mithin der Raum der Ausdehnung verringert, d. i. in denselben bis auf ein gewißes Maß von einer gegebenen zusammendrücken-

den Kraft eingedrungen werden kann, doch so, daß die gänzliche Durchdringung, weil sie eine unendliche zusammendrückende Kraft erfordern würde, unmöglich ist: so muß die Erfüllung des Raums nur als relative Undurchdringlichkeit angesehen werden.

Die absolute Undurchdringlichkeit ist in der That nichts mehr, oder weniger, als qualitas occulta. Denn man fragt, was die Ursache sei, daß Materien einander in ihrer Bewegung nicht durchdringen können, und bekommt die Antwort: weil sie undurchdringlich sind. Die Berufung auf zurücktreibende Kraft ist von diesem Vorwurfe frei. Denn, ob diese gleich ihrer Möglichkeit nach auch nicht weiter erklärt werden kann, mithin als Grundkraft gelten muß, so giebt sie doch einen Begriff von einer wirkenden Ursache und ihren Gesetzen, nach welchen die Wirkung, nämlich der Widerstand in dem erfüllten Raum, ihren Graden nach geschätzt werden kann."

Kant kommt nach dieser Erörterung nunmehr auf die unendliche Theilbarkeit der Materie, die er darauf gründet, daß in einem mit Materie erfüllten Raume jeder Theil desselben repulsive Kraft enthalte, dadurch also fähig werde, allen übrigen nach allen Seiten entgegenzuwirken und sie zurückzutreiben, aber ebensowohl von ihnen zurückgetrieben werde. Es sei mithin jeder Theil für sich selbst beweglich, folglich trennbar von den übrigen durch physische Theilung, die sich demzufolge soweit erstrecke, wie die mathematische Theilbarkeit des Raumes, d. h. bis in's Unendliche.

Mit Recht verbindet Kant mit seinen Erörterungen der die Materie constituirenden Grundkräfte Betrachtungen über die Gravitation als die auch in die Ferne wirkende Anziehungskraft der Materie, indem er nachweist, daß eine solche nicht im mindesten unbegreiflicher genannt werden dürfe, als eine Attraction, die in der Berührung zweier Körper wirkt, da diese ja nur in Punkten, außerhalb ihrer Massen, vorhanden sein

könne. Vollkommen richtig weist er die Unhaltbarkeit der Behauptung nach, daß Newton sich jedes physikalischen Begriffs der Gravitation enthalten und nur deren mathematisches Gesetz ausgesprochen habe, um den Physikern volle Freiheit zu lassen, die Möglichkeit derselben zu erklären, wie sie es für gut finden möchten. „Denn wie konnte er den Satz aufstellen, daß die allgemeine Anziehung der Körper, die sie in gleichen Entfernungen um sich ausüben, der Quantität ihrer Materie proportionirt sei, wenn er nicht annahm, daß alle Materie durch ihre wesentliche Eigenschaft diese Bewegungskraft ausübe? — Er abstrahirte mit Recht von allen Hypothesen, die Frage wegen der Ursache der allgemeinen Attraction der Materie zu beantworten; denn diese Frage ist physisch oder metaphysisch, nicht aber mathematisch, und ob er gleich in der Vorerinnerung zur zweiten Ausgabe seiner Optik sagt: ne quis gravitatem inter essentiales corporum proprietates me habere existimet, quaestionem unam de ejus causa investiganda subjeci, so merkt man wohl, daß der Anstoß, den seine Zeitgenossen und vielleicht er selbst am Begriffe einer ursprünglichen Anziehung nahmen, ihn mit sich selbst uneinig machte; denn er konnte schlechterdings nicht sagen, daß sich die Anziehungskräfte zweier Planeten, z. B. des Jupiters und Saturns, die sie in gleichen Entfernungen ihrer Trabanten (deren Masse man nicht kennt) beweisen, wie die Quantität der Materie jener Weltkörper verhalten, wenn er nicht annahm, daß sie bloß als Materie, mithin nach einer allgemeinen Eigenschaft derselben, andere Materie anzögen.“

Den Begriff einer absoluten Undurchdringlichkeit will Kant als einen völlig leeren Begriff gänzlich aus den Naturwissenschaften verwiesen sehen, da die Materie derselben durchaus nicht bedürfe. Der Raum könne auch ohne leere Zwischenräume, durchgängig und zwar in verschiedenem Grade

von Materie erfüllt angenommen werden, wobei Kant indessen zugiebt, daß „die mathematisch-mechanische Erklärungsart über die metaphysisch-dynamische einen Vortheil habe, der ihr nicht abgewonnen werden könne, nämlich aus einem durchgehends gleichartigen Stoffe, durch die mannigfaltige Gestalt der Theile, vermittelst eingestreuter leerer Zwischenräume, eine große specifische Mannigfaltigkeit der Materien zu Stande zu bringen. Denn die Möglichkeit der Gestalten sowohl als der leeren Zwischenräume lasse sich mit mathematischer Evidenz darthun, wogegen wenn der Stoff selbst in Grundkräfte verwandelt werde, uns alle Mittel abgehen, diesen Begriff der Materie zu construiren und das allgemein Gedachte in der Anschauung als möglich darzustellen.“

Man sieht hieraus, wie wenig Kant sich über die Schwäche der Dynamik täuscht, wie bereitwillig er Vorzüge der Atomistik anerkennt, welche derselben als erklärender Theorie in den Augen der Physiker stets einen entschiedenen Vorzug verleihen werden, indem er sich doch zugleich mit allem Aufwande von Scharfsinn bemüht, die Unhaltbarkeit eben dieser durch ihre Anschaulichkeit sich empfehlenden Theorie nachzuweisen und sie durch eine wahrheitsgemäßere zu ersetzen. In der That wird man kaum umhin können, ihm darin beizupflichten, daß in jedem Punkte der Materie Kräfte existiren und eine stetige Erfüllung des Raums (ohne leere Zwischenräume) sehr wohl denkbar sei: nur ist es auch unbegreiflich, daß Materie das Product jener Kräfte sein soll, die doch selbst an etwas Substanziellem haften müssen, so wie die gegenseitige Durchdringung zwei verschiedener Materien, welche stetig den Raum erfüllen, das Vermögen unserer Vorstellung gänzlich überschreitet. Aus diesen Gründen und weil Kant aus seinen Grundbegriffen durchaus keine specielle der Erfahrung entsprechende Resultate hinsichtlich der Eigenschaft der Körper zu ziehen

vermochte, kann uns seine Theorie allerdings keine Befriedigung gewähren; man darf indessen ihren Einfluß auf die Wissenschaft darum nicht gering anschlagen, da seine Vorstellung von überall in der Materie thätigen Kräften vielmehr gegenwärtig ein Gemeingut aller Physiker geworden ist, wie schon die obenerwähnte Ansicht von Laplace davon Zeugniß giebt.

Auf dem durch atomistische und dynamische Betrachtungen allmälich gewonnenen Boden der gegenwärtigen Naturanschauung hat die Frage nach den Kräften, welche den kleinsten Theilen der Materie (wenn man will, den Atomen oder Molecülen) innewohnen, ein nicht geringes Interesse. Es sei daher vergönnt, hier zum Schluß die Aeußerungen aufzunehmen, in denen Fechner seine Ansichten über den Gegenstand und zugleich über den Begriff einer chemischen Verbindung in eben so einfacher als klarer Weise ausspricht.*)

„Daß den Atomen, welche die ponderable Masse der Körper ausmachen, wirklich Kräfte zugeschrieben werden müssen, leidet keinen Zweifel, da der Zusammenhalt der gleichartigen Atome selbst unter einander im nämlichen Körper (Cohäsion), die Anziehung, vermöge deren sie sich bei der Verdunstung einer Auflösung zum nämlichen regelmäßigen Körper vereinigen (Krystallisation), die Anhaftung, welche getrennte Körper an einander äußern, wenn man ihre glatten Oberflächen mit einander in Berührung oder wenn man flüssige Körper an feste bringt (Adhäsion), die Anziehung, vermöge welcher sich ungleichartige Atome mit einander zu einem neuen Körper verbinden und in dieser Verbindung fest halten (chemische Verwandtschaft), eben so viel Erscheinungen sind, welche uns nöthigen, den kleinsten materiellen Körpertheilchen eben so gut eine anziehende Kraft gegen einander beizulegen, als wir

*) Siehe J. B. Biot Lehrbuch der Experimentalphysik; deutsch von Fechner 1828. Bd. 1. S. 403—4.

dieselbe an den größeren materiellen Massen in den Erscheinungen des Falls und den Bewegungen der Himmelskörper ausgesprochen erblicken. Keine Erscheinung aber berechtigt uns bis jetzt mit Bestimmtheit dazu, zwischen den Theilchen der wägbaren Körper auch an sich Statt findende Abstoßungskräfte anzunehmen; wo vielmehr eine Abstoßung materieller Theilchen von einander beobachtet wird, läßt sich diese stets der abstoßenden Wirkung eines andern Agens zuschreiben, wie z. B. der Wärme oder Electricität."

„Wenn zwei Aggregate von Atomen verschiedener Art zusammenkommen und ihr Aggregatzustand so beschaffen ist, daß sie ihren wechselseitigen Anziehungen gehorchen können, so werden beide zu einem dritten Aggregate verschmelzen müssen, worin ein neuer Gleichgewichtszustand zwischen den Atomen eintreten wird. Die Bedingung der Symmetrie nun scheint es mit sich zubringen, daß (welcher Art auch die wirkenden Kräfte sein mögen) ein Zustand von stabilem Gleichgewicht nicht eher zwischen ihnen Statt finden kann, als wenn die Atome der einen Art sich gleichförmig durch die Atome der andern Art vertheilt haben, indem, so lange dies nicht geschehen ist, immer ein Ueberschuß anziehender oder abstoßender Kraft nach gewissen Richtungen wirken wird. Durch eine solche Vereinigung zweier Aggregate wird demnach ein drittes neues Aggregrat entstehen müssen, worin allemal eine bestimmte Anzahl Atome von beiden sich neben einander befinden. Hierin sehen wir die nur nach bestimmten Verhältnissen erfolgenden chemischen Verbindungen verwirklicht, worin wir die einfachen Atome (**molécules constituantes**) d. h. die letzten Bestandtheile des neuen Körpers von den zusammengesetzten Atomen (**molécules intégrantes**) d. h. den gleichartigen Theilen der ganzen Masse unterscheiden."

Ueber die

Bildung chemischer Verbindungen.

Ueber die

Bildung chemischer Verbindungen.

Über die Bildung chemischer Verbindungen.

Die Speculation über die letzten Gründe der materiellen Verschiedenheit, welcher wir in der Körperwelt begegnen, hat in den Forschungen und Entdeckungen der neueren Chemie eine sehr nahe liegende Veranlassung zu neuer Thätigkeit und zugleich die willkommenste Grundlage zu Hypothesen gefunden. Aber wie hoch wir auch die Erwerbungen anzuschlagen haben, welche die Naturwissenschaft auf dem Gebiete der Chemie gemacht, so können wir uns doch keineswegs darüber täuschen, daß hier in theoretischer Beziehung noch gar Vieles zu prüfen und zu sichten bleibt; daß manche voreilige Annahme aufzugeben, manche bezweifelte Wahrnehmung anzuerkennen, Zerstreuetes zusammenzufassen und dagegen willkürlich Verbundenes zu trennen sein wird. Der Grund des Gebäudes ist gelegt, aber erst den kommenden Zeiten ist es vorbehalten, den Bau zu vollenden, welchen das verflossene Jahrhundert begonnen hat.

Die Grundlage, welche hier gemeint ist, bilden die Thatsachen, auf welche, als auf unzweifelhafte Erfahrungssätze, die neuere Chemie sich stützt, keineswegs aber die theoretischen Fictionen, welche man jenen Thatsachen als Erklärungsgründe untergeschoben hat. Betrachtet man die chemische Atomenlehre, wie sie sich seit Dalton geltend gemacht, nur als Mittel einer bequemen Versinnlichung, so läßt sich unstreitig viel zu ihrer Empfehlung sagen; wie der Mathematiker ein reguläres Polygon von unendlich vielen, unendlich kleinen Seiten unbe-

denklich als Kreis betrachtet, um dessen Umfang zu berechnen, wenn er sich auch sehr wohl bewußt ist, daß in dieser Fiction eine Unrichtigkeit liegt, mag der Chemiker seine Stoffe in Atome zerlegen, wenn er nur nicht an die Existenz solcher untheilbarer Elemente glaubt, wenn er sie für nichts anderes als sehr kleine Körpertheilchen nimmt. Bedenklich aber ist es, der herkömmlichen Darstellungsweise gemäß, die materielle Eigenthümlichkeit und Verschiedenheit der Körper wesentlich in der Zahl und Gruppirung von Atomen zu suchen und dabei andere Beziehungen außer Acht zu lassen, die doch möglicherweise von nicht geringerer Bedeutung sind, wie z. B. die Zeitfolge, in welcher sich die Elemente mit einander verbinden können. Wie man nämlich auch über diese denken, ob man sie sich als wirkliche Atome oder vielmehr als Massentheile von unbestimmter Form und Größe vorstellen möge: immer wird man annehmen müssen, daß in einer binären Verbindung derselben beide Substanzen eine gewisse Anziehungskraft auf einander üben. Läßt man denselben Zeit zu vollständiger Einwirkung, so wird sich ein Quantum **A** des einen mit einem Quantum **B** des andern Körpers vereinigt und daher der neue Körper **AB** sich gebildet haben.

In diesem sind nun aber die den Elementartheilen der Substanzen **A** und **B** innewohnenden Kräfte gegenseitiger Anziehung keineswegs erloschen, sondern noch fortdauernd vorhanden, wenn auch vielleicht hinsichtlich einer weiteren Thätigkeit gehemmt. Denn wie bei gleichzeitiger Einwirkung verschiedener mechanischer Kräfte auf einen beweglichen Punkt unter diesen eine theilweise Hemmung erfolgen kann, keineswegs aber eine eigentliche Aufhebung oder Vernichtung, eben so haben wir uns die chemischen Kräfte in ihrem gemeinsamen Verhalten vorzustellen: an sich beständig und unzerstörbar in jedem materiellen Theilchen können sie allerdings in ihrer Wirkung

einander hemmen, treten aber vollständig wieder hervor, sobald jene Hemmung aufhört. Am einfachsten ist nun freilich die Annahme, daß wenn in einem zusammengesetzten Körper das Quantum A des einen Elements sich mit dem Quantum B des andern vereinigt hat, die zwischen beiden wirkende anziehende Kraft nunmehr gebunden und nach außen unwirksam sein werde, bis eine Trennung sie wieder frei macht; es läßt sich indessen ebensowohl denken, daß die nämliche Kraft der Anziehung auch noch im Körper AB wirksam geblieben und fähig sei, ein neues Quantum (A des einen oder B des andern Stoffes) in die Verbindung zu ziehen, wodurch dieselbe zu A_2B oder AB_2 werden würde. Mit dieser Möglichkeit ist aber augenscheinlich auch die weitere gegeben, daß durch dasselbe Maß anziehender Kraft ein ferneres Quantum A oder B in die Verbindung trete und somit Combinationen der Form A_3B, A_2B_2, AB_3 entstehen. Giebt man dieser Betrachtung Raum, so erscheint es auch ohne die ausdrückliche Annahme wirklicher Atome erklärlich, wie die chemischen Grundstoffe sich in mannigfachen Verhältnissen ganzer Zahlen zu sehr verschiedenartigen Körpern vereinigen können. Eine besondere Beachtung aber scheint bei einer derartigen Bildung zusammengesetzter Körper aus zwei Elementen die Zeitfolge der allmähligen Vereinigung zu verdienen. Denn man kann sich z. B. die Verbindung A_2B_2 ebensowohl nach dem Schema $(A_2B)\,B$, als nach dem andern $(AB_2)\,A$ entstanden denken, wobei möglicher Weise die Gestalt wie die sonstige Beschaffenheit verschieden ausfallen können, weil im einen Fall der Körper A_2B sich mit B, im andern hingegen der Körper AB_2 sich mit A verbindet. Eben so findet man für die chemische Formel A_3B_2 die verschiedenartigen Formen allmähliger Bildung:

$$(AB)\,A)\,A)\,B;\quad (AB)\,A)\,B)\,A;\quad \text{und}\quad (AB)\,B)\,A)\,A;$$

und die Verschiedenheit der Folge, in welcher hier die Elemente

zusammentreten, um jedesmal eine neue binäre Verbindung zu erzeugen, könnte denkbarer Weise eben so viele Körper von verschiedener Beschaffenheit hervorbringen, so daß man in ihr den eigentlichen Grund der Polymorphie und vielleicht auch der Isomerie gewisser Verbindungen zu suchen hätte.

Es konnte im Vorstehenden völlig unentschieden bleiben, ob man mit den Andeutungen A, B der Elemente die Vorstellung von Atomen (Atomgewichten) oder vielmehr von beliebigen Massen (Mischungsgewichten) beider Stoffe verbinden will. Denn wenn irgend ein kleinerer oder größerer Theil A des einen Stoffs sich mit einem bestimmten Gewichtstheile B das andere chemisch verbindet, so ist das Verhältniß dieser Gewichte unter beiden Voraussetzungen dasselbe; die Kraft beider Substanzen, mit welcher sie einander bis zur Erzeugung eines neuen Körpers anziehen, ist daher die nämliche, welchen Begriff man auch mit den Andeutungen A und B verbinden möge. Angenommen daher, daß diese Kraft auch noch in der Verbindung AB wirksam bleibe und durch Aufnahme eines neuen A oder B entweder A_2B oder AB_2 erzeuge, würde man auch ohne die Hypothese eigentlicher Atome die Formeln der Chemie erklärbar finden.

Die Reichhaltigkeit der unter den Elementen A und B möglichen Combinationen wächst aber noch, wenn man berücksichtigt, daß eine Verbindung ebenfalls aus zwei bereits zusammengesetzten Körpern hervorgehen, z. B. A_3B_2 als Vereinigung von A_2B und AB entstehen kann. Auch ist bekanntlich die Aufgabe der Chemie noch keineswegs damit gelös't, daß sie uns die Formel eines Körpers nur durch Aufzählung sämmtlicher in ihr enthaltenen Atomgewichte gebe; vielmehr verlangen wir von der chemischen Formel die ausdrückliche Angabe, wie die Elemente sich zum Ganzen vereinigt, in welchen Gruppen sie sich combinirt haben. Das Bedürfniß einer solchen bestimmteren

Angabe macht sich besonders in der organischen Chemie fühlbar, wo z. B. die summarische Formel $N_2 H_4 C_2 O_2$, welche ebensowohl Harnstoff als cyansaures Ammonium andeuten kann, uns völlig unbefriedigt läßt.

Zu näherer Erläuterung des im Vorstehenden allgemein Ausgesprochenen mögen hier einige Beispiele folgen und diese zunächst aus den Verbindungen des Sauerstoffs mit Metallen gewählt werden. Derselbe erzeugt erfahrungsmäßig

mit Molybdän die Oxyde MO, MO_2, MO_3;
„ Arsen . . . . . AsO, AsO_3, AsO_5;
„ Antimon . . . . SbO, SbO_3, SbO_4, SbO_5;
„ Mangan . . . . MnO, MnO_2, MnO_3,
„ Eisen . . . . . FeO, ... Fe_2O_3.

Unter diesen Reihen von Oxydationsstufen sind nur die erste und die vierte ohne Lücken. In der zweiten fehlen die Stufen AsO_2 und AsO_4, in der dritten aber die Stufe SbO_2. Will man nicht annehmen, daß jene fehlenden Glieder im Fortschritt der Chemie noch aufgefunden werden, so bleibt kaum eine andere Erklärung, als daß sie von nur momentanem Bestande oder Durchgangsstufen sind, auf denen die sich vereinigenden Elemente keine Producte von Dauer zu erzeugen vermögen. Die Formeln für das Oxydul und das Oxyd des Eisens erlauben eine verschiedene Deutung, indem man entweder die vorhandene Lücke in den Anfang der Reihe verlegen und dieselbe als Fe_2O, Fe_2O_2, Fe_2O_3 ansehen oder aber Fe_2O_3 als Combination der beiden Oxydationsstufen FeO und FeO_2 betrachten kann, von denen die letzte allerdings nicht bekannt ist, so daß man annehmen müßte, sie bilde sich unter günstigen Umständen zum Theil aus FeO, und gehe dann mit diesem sofort eine chemische Verbindung ein, wie wir eine solche u. A. von Manganoxyden (MnO, Mn_2O_3) im Schwarzmanganerz (Mn_3O_4), oder von den oben angegebenen

Oxyden des Eisens selbst im Magneteisenstein ($Fe_3 O_4$), einer Verbindung des Eisenoxyduls mit Eisenoxyd ($Fe O$, $Fe_2 O_3$) finden.

Eine anderes Beispiel gewähren die Verbindungen des Sauerstoffs mit

Kohle . . . . . . CO, CO_2 . . . . C_2O_3, C_3O_4 . . . . .

Phosphor . . . . PO, PO_3, PO_5;

Chlor . . . . Cl O, $Cl O_3$, $Cl O_4$, ClO_5, $Cl O_6$;

wo die Lücken der unvollständigen Reihen wiederum zu der Vermuthung auffordern, daß Verbindungen von nur momentaner Existenz für sie vorhanden sein mögen, welche sich sofort zu andern gestalten. Die Formel der Kleesäure ($C_2 O_3$) kann man als (CO_2) C) O oder als (CO_2) O) C deuten, schwerlich aber als Combination von CO und CO_2, obgleich die wasserhaltige Oxalsäure bekanntlich in Kohlenoxyd und Kohlensäure zerfällt, sobald ihr durch Schwefelsäure der Wassergehalt entzogen wird. Daß die Glieder PO_2 und PO_4 keinen bekannten Verbindungen entsprechen, ließe sich allenfalls aus einer sehr leichten Zerlegbarkeit derselben erklären; denn wenn man die Atomgewichte verdoppelt, wodurch obige Glieder die Form $P_2 O_4$ und $P_2 O_8$ erhalten, läßt sich jenes in PO und PO_3, dieses aber in PO_3 und PO_5 zerlegen. Aehnliches gilt von dem Gliede $Cl O_2$, welches unter der Form $Cl_2 O_4$ in Cl O und $Cl O_3$ zerfällt. Die anscheinende Willkür solcher Deutungen wird weniger bedenklich, wenn man sich erinnert, wie die neuere Chemie wirklich eine nicht geringe Anzahl von Verbindungen nachgewiesen hat, deren Existenz früher bezweifelt wurde, weil man dieselben isolirt nicht darzustellen wußte. Es sei hier beispielsweise nur auf die Reihe der Verbindungen des Stickstoffs mit Wasserstoff (HN, $H_2 N$, $H_3 N$, $H_4 N$) hingewiesen, wovon allein das dritte Glied im freien Zustande (als Ammoniak) darstellbar ist, während die übrigen nur in Verbindungen vorkommen.

Wie groß die Reichhaltigkeit chemischer Combinationen bei zwei Elementen sein kann, zeigen am auffallendsten die Verbindungen des Sauerstoffs mit Stickstoff oder mit Schwefel. Für jene haben wir die Reihe

$$NO,\ NO_2,\ NO_3,\ NO_4,\ NO_5$$

in welcher das lange als zweifelhaft betrachtete Glied NO_4 in die benachbarten Glieder zerfällt, da $NO_3 + NO_5 = 2\ NO_4$ ist, eine Ansicht, welche wir ausdrücklich in den neueren Lehrbüchern der Chemie (s. Graham=Otto, Bd. 2, pag. 193) ausgesprochen finden.

Von Schwefelverbindungen mit Sauerstoff kennt man:

Unterschweflige Säure . .	$= S_2O_2$
Schweflige Säure	$= SO_2$
Unterschwefelsäure	$= S_2O_5$
Schwefelsäure	$= SO_3$
Trithionsäure	$= S_3O_5$
Tetrathionsäure	$= S_4O_5$
Pentathionsäure	$= S_5O_5$

also die beiden Reihen

I. $S_2O_2,\ S_2O_4,\ S_2O_5,\ S_2O_6;$

II. $S_2O_5,\ S_3O_5,\ S_4O_5,\ S_5O_5;$

worin zur Vollständigkeit noch die Glieder S_2O_3 und SO_5 fehlen. Erwägt man, daß die letzte der oben angeführten Säuren „durch Basen äußerst leicht unter Abscheidung von Schwefel zunächst in Tetrathionsäure umgewandelt wird, welche ihrerseits dann wieder sehr leicht in Trithionsäure übergeht" (s. Graham=Otto a. a. O. S. 316), und daß diese sich in SO_3, SO_2 und S zersetzt, so hat man an diesen so leicht zerlegbaren, so wenig beständigen Verbindungen das überzeugendste Beispiel von jenen Combinationsstufen, welche oben als *momentane* bezeichnet und den *dauernden* entgegengestellt wurden.

Man wird also aus dem Umstande, daß einzelne Glieder

einer Reihe von Verbindungen bisher noch nicht als (isolirt oder chemisch gebunden) existirend nachgewiesen sind, keineswegs den Beweis hernehmen dürfen, daß sie überhaupt nicht vorhanden, vielleicht gar unmöglich seien. Vielleicht daß jene Glieder nur unter ganz eigenthümlichen Bedingungen, namentlich innerhalb sehr enger Temperaturgränzen, zur Existenz gelangen können, oder daß sie wirklich nur augenblickliche Uebergangsstufen sind, auf welchen die chemische Attraction der entstandenen Verbindung sofort die Entstehung einer neuen veranlaßt.

Nach allem Vorhergehenden wird es gestattet sein, folgende völlig allgemeine Betrachtung über die chemische Verbindung zweier Körper anzustellen, ohne daß man sich dabei der Forderung aussetzte, im einzelnen Falle das wirkliche Vorhandensein der angedeuteten Verbindungsstufen nachzuweisen. Mögen **A** und **B** die kleinsten Gewichtsmengen, nach welcher zwei Körper sich mit andern vereinigen, oder ihre s. g. Aequivalente (Mischungsgewichte) bezeichnen, so ist das allgemeine Schema für ihre sämmtlichen (denkbaren) Verbindungen:

$$
\begin{array}{llllll}
AB, & AB_2, & AB_3, & AB_4, & AB_5 & \ldots \\
A_2B, & A_2B_2, & A_2B_3, & A_2B_4, & A_2B_5 & \ldots \\
A_3B, & A_3B_2, & A_3B_3, & A_3B_4, & A_3B_5 & \ldots \\
A_4B, & A_4B_2, & A_4B_3, & A_4B_4, & A_4B_5 & \ldots \\
A_5B, & A_5A_2, & A_5B_3, & A_5B_4, & A_5B_5 & \ldots \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots &
\end{array}
$$

Dieses Schema giebt uns nun Stoff zu einer Reihe von Betrachtungen, welche allerdings hypothetisch lauten, darum aber nicht weniger Beachtung verdienen möchten, als die Fictionen der atomistischen Theorie, die alle Vorgänge der Chemie aus der Anzahl und Stellung wirklicher Körperatome zu erklären bemüht ist.

I. Sei die Affinität oder chemische Attraction, welche in

einer beliebig anzunehmenden Gewichtseinheit (z. B. in einem Milligramme) des einen Stoffes wirksam ist, = A′, und eben so für den andern = B′, die von jenem in die chemische Verbindung eingehende Masse = α, die von diesem = β, so darf man α.A′ = β.B′ setzen, weil Wirkung und Gegenwirkung einander gleich sein müssen, wenn gegenseitige Sättigung und damit der Zustand innerer Ruhe in der Mischung eingetreten ist.

II. Da die Massen α, β der chemischen Verbindung sich verhalten, wie ihre Mischungsgewichte, also α : β = A : B, und

$$\frac{\alpha}{A} = \frac{\beta}{B} \text{ oder } \alpha\left(\frac{1}{A}\right) = \beta\left(\frac{1}{B}\right),$$

so folgt aus der Vergleichung dieses Ausdrucks mit dem obigen (in I), daß

$$A' = \frac{1}{A}; \text{ und } B' = \frac{1}{B};$$

d. h. daß der numerische Werth der Affinitäten A′, B′ zweier Stoffe gefunden wird, indem man die Einheit durch ihre Aequivalentgewichte dividirt. Es versteht sich, daß man auf diese Weise die Größe der Attraction so findet, wie solche in der Verbindung von (A) und (B) thätig ist. Sollte durch einwirkende Umstände, z. B. durch Temperaturerhöhung oder elektrische Strömung, eine Aenderung in der Entfernung oder Gruppirung der verschiedenen Elementartheilchen vor sich gehen, so würde eben dadurch die gegenseitige Attraction derselben vermindert werden und vielleicht gar eine Zerlegung der bisherigen chemischen Verbindung erfolgen.

III. Eben so wie äußere Umstände die Affinität der Bestandtheile schwächen und außer Wirksamkeit setzen können, läßt es sich aber auch umgekehrt denken, daß sie vielmehr dazu dienen, die Wirksamkeit jener Kräfte zu erhöhen, indem in der Verbindung AB die ursprüngliche Kraft eines Bestandtheils wieder vollständig thätig werden kann. Ist dieser Bestand-

theil A, so würde aus AB die neue Verbindung AB_2, ist es dagegen B, so würde vielmehr A_2B aus ihr hervorgehen. Die erneuete Wirksamkeit der Attraction von A oder B in den Verbindungen AB_2 und A_2B führt zu den Formen AB_3, A_2B_2, A_3B, welche in der obigen Uebersicht auf jene folgen, und offenbar lassen sich auf diesem Wege alle höhere Zusammenstellungen von einander ableiten.

IV. Es leuchtet ein, daß bei einer derartigen successiven Bildung die höheren Glieder in den Verbindungsreihen auf mehr als einem Wege entstanden sein können, z. B. A_3B_4 aus

(AB) A) A) B) B) B)

oder (AB) A) B) A) B) B)

oder (AB) A) B) B) A) B) u. s. w.

und daß die Eigenschaften der also entstehenden Verbindungen keineswegs durchaus übereinzustimmen brauchen. Ueberdieß kann die höhere Form unmittelbar das Resultat der Combination aus zwei niedern sein;

z. B. $A_3B_4 = AB_2 + A_2B_2$ oder $= A_2B + AB_3$ u. s. f.

Die abweichende Beschaffenheit oder Wirksamkeit metamerer Körper (in denen Aequivalente derselben Stoffe in gleicher Anzahl vorkommen) würde hiernach einen doppelten Erklärungsgrund zulassen.

V. Auf gleiche Weise erscheint die Polymerie zweier Verbindungen (davon eine das Vielfache der Aequivalente der andern enthält, ohne daß sie darum identisch wären) leicht erklärlich; denn es kann ein sehr wesentlicher Unterschied sein zwischen

AB und A_2B_2 = (AB) A) B oder (AB) B) A

AB und A_3B_3 = (AB) A_2) B_2 = (AB) B_2) A_2 u. s. w.

VI. Denkt man sich den Körper (A) mit einem andern (C) verbunden, so gilt für diese Verbindungen im Allgemeinen wieder das oben aufgestellte Schema, in welchem C an die Stelle

von B tritt. Es läßt sich a priori vermuthen, daß Glieder aus der Reihe für A und C mit solchen aus der Reihe für A und B chemische Verbindungen eingehen werden, weil der gemeinschaftliche Bestandtheil A solche vermittelt, und daß dabei eine bestimmte Regelmäßigkeit sich zeige. Bekanntlich ist dies u. A. der Fall bei der Verbindung der Metalloxyde mit Sauerstoffsäuren zu Salzen, so wie bei den Säure-Hydraten, z. B. denen der Schwefelsäure:

$$HO,\ SO_3$$
$$HO,\ SO_3 + HO$$
$$HO,\ SO_3 + 2\ HO$$
$$HO,\ SO_3 + 3\ HO$$
$$HO,\ SO_3 + 4\ HO$$
$$HO,\ SO_3 + 5\ HO.$$

VII. Wo überhaupt ein Körper drei Elemente A, B, C enthält, ist er aus denselben dergestalt hervorgegangen, daß A sich einerseits mit B, anderseits mit C verbunden hat und diese beiden Verbindungen wiederum zu einer neuen zusammengetreten sind. In der Wirklichkeit kann die Vereinigung der drei Elemente allerdings so schnell erfolgen, daß man die Zeitfolge des Bildungsganges wahrzunehmen außer Stande ist; immer ist die Entstehung eines zusammengesetzten Körpers aber das Werk einer Combination von je zwei Bestandtheilen, die einander mit gleicher Kraft (abhängig von ihrer Masse und Affinität) binden. Bei einer beliebigen Anzahl von Elementen gilt ganz das Nämliche, was hier in Beziehung auf drei derselben gesagt ist, nur daß die Menge der möglichen Combinationen mit ihrer Anzahl in bedeutendem Maße wächst, so daß die Ermittelnng der wahren chemischen Formel eines zusammengesetzten Körpers gewöhnlich in demselben Grade schwieriger wird, als er mehrfache Elemente enthält.

VIII. Es erscheint als eine nothwendige Consequenz der

vorstehenden Betrachtungen, daß Alles, was in denselben von Elementen gesagt ist, ebensowohl von den zusammengesetzten Bestandtheilen einer chemischen Verbindung gilt. Es können z. B. A, B, C die Aequivalentgewichte einer Säure, eines Metalloxyds und des Wassers bezeichnen, falls von wasserhaltigen Salzen die Rede ist. Der hypothetische Satz, daß die Zusammensetzung wie die Zerlegung unter allen Umständen eine binäre sei, findet auch hier seine volle Anwendung und ist geeignet, in manchen Fällen eine einfache Erklärung vielleicht auffallender Erscheinungen darzubieten, zumal wenn man dabei das Erfahrungsgesetz berücksichtigt, daß ein Bestandtheil oft durch einen andern aequivalenten vertreten wird. Ein Beispiel hiervon geben die drei Hydrate der Phosphorsäure

$$HO, PO_5; \quad 2\,HO, PO_5; \quad 3\,HO, PO_5;$$

deren Wassergehalt durch eine Base RO ersetzt werden kann, woraus dann die Formeln

$$RO, PO_5; \quad 2\,RO, PO_5; \quad 3\,RO, PO_5;$$

als Ausdrücke verschiedener phosphorsaurer Salze hervorgehen, deren letzte, jenachdem eine vollständige oder nur theilweise Vertretung der Wasseräquivalente Statt gefunden, wiederum zerfällt in die drei Formen:

$$3\,RO, PO_5; \quad \left.\begin{matrix}2\,RO\\HO\end{matrix}\right\}PO_5; \quad \left.\begin{matrix}RO\\2\,HO\end{matrix}\right\}PO_5$$

Diese Ausdrücke entsprechen augenscheinlich der allgemeinen Reihe AB, A_2B, A_3B oder AB, (AB) A, ((AB) A) A, wenn unter B ein Aequivalent der Säure und unter A ein solches des Wassers oder der stellvertretenden Base verstanden wird.

Gründen die vorstehenden Betrachtungen über die allmählige Bildung chemischer Verbindungen sich auch wesentlich auf den Begriff der Affinität, d. h. der in innigster Berührung der kleinsten Theilchen wirkenden attractiven Kraft derselben, so ist die damit versuchte Er lärung doch noch keineswegs eine

dynamische im strengeren Sinne des Worts zu nennen. Denn eine solche würde (nach den im vorhergehenden Aufsatze entwickelten Begriffen der Kantischen Naturphilosopie) die Körper völlig aus Kräften construiren müssen, während hier die Elemente vielmehr als von der Natur uns gegebenen Stoffe betrachtet werden, denen je nach ihrer Besonderheit ein bestimmtes Maß attractiver Kraft als wesentliche und unveräußerliche Eigenschaft anhaftet. Insofern würde also kaum eine Abweichung von der gewöhnlichen atomistischen Auffassungsweise hervortreten; indem diese aber als letzten Grund für die Combination der Elemente nach bestimmten Verhältnissen die Zahl und Gruppirung der Atome angiebt, bleibt sie in der That auf halbem Wege stehen und einen Theil der Lösung des Räthsels noch schuldig. Denn mit Recht darf man fragen, warum mit A sich gerade 3 oder 5 Atome B verbinden, und welches die räumliche Stellung dieser Atome sein werde? Nach der oberflächlichen Weise, womit dieser Gegenstand in den atomistischen Darstellungen behandelt zu werden pflegt, kann man kaum umhin zu vermuthen, daß damit überhaupt gar nicht eine die Wahrheit der Sache treffende, sondern vielmehr nur eine im Allgemeinen zufriedenstellende Erklärung bekannter Thatsachen gegeben werden solle. Denn sonst würde man es jedenfalls der Mühe werth zu achten haben, für die räumliche Stellung der einzelnen Atome, aus denen das s. g. zusammengesetzte sich bilden soll, physikalische Gründe zu suchen, statt daß man dabei mit der unbefangensten Willkür zu Werke geht. Wer der elektrochemischen Theorie huldigt, also die Atome nach den Gesetzen der Polarität sich ordnen läßt, kann nicht wohl umhin, demgemäß die geradlinige Folge derselben anzunehmen; sollen sich aber mehrfache Atome B, einander abstoßend, um das Atom A lagern, so werden ihre Mittelpuncte in den Ecken einer regelmäßigen geometrischen

Figur liegen müssen. Bei 3, 4, 6, 8 Atomen B erhielte man so das reguläre Dreieck, Tetraeder, Octaeder und den Würfel als Figuren für das zusammengesetzte Atom; die Zahl 5 dagegen würde auf große Schwierigkeiten führen, so wie auch die Verbindung mehrfacher Atome von A und B. Diese Andeutungen mögen genügen, um es wenigstens fühlbar zu machen, wie unbefriedigend die atomistische Theorie unserer chemischen Lehrbücher in ihren eigentlichen Grundlagen ist und daß sie auch nicht entfernt ein Recht zu der Behauptung hat, ein in sich consequentes und den wissenschaftlichen Forderungen entsprechendes System aufzustellen.

Zur
mathematischen Behandlung
der Chemie.

Figur liegen müssen. Bei 3, 4, 6, 8 Atomen B erhielte man so das reguläre Dreieck, Tetraeder, Octaeder und den Würfel als Figuren für das zusammengesetzte Atom; die Zahl 5 dagegen würde auf große Schwierigkeiten führen, so wie auch die Verbindung mehrfacher Atome von A und B. Diese Andeutungen mögen genügen, um es wenigstens fühlbar zu machen, wie unbefriedigend die atomistische Theorie unserer chemischen Lehrbücher in ihren eigentlichen Grundlagen ist und daß sie auch nicht entfernt ein Recht zu der Behauptung hat, ein in sich [illegible] Bedingungen entsprechendes System aufzustellen.

Zur mathematischen Behandlung der Chemie.

Die enge Beziehung, welche zwischen der Mathematik und allen Zweigen der Naturlehre herrscht — von unermeßlicher Bedeutung, sowohl für die wissenschaftliche Ausbildung, als für die practische Anwendung der physikalischen Lehren — giebt sich schon hinlänglich bei der elementaren Betrachtungsweise zu erkennen, welche jene Lehren dem Verständnisse mit Hülfe einfacher mathematischer Sätze und Entwicklungen zugänglich zu machen sucht. Welche Schwierigkeiten auch einzelne Theile der Physik der mathematischen Behandlung darbieten mögen, so fügen die meisten sich doch so bereitwillig derselben, daß eine vollkommen klare und präcise Auffassung der physikalischen Erscheinungen und Gesetze in der Regel nur auf diesem Wege erreichbar erscheint, während es oft der ausführlichsten Wortumschreibung nicht gelingen will, den Vorstellungen die rechte Deutlichkeit und den Begriffen die erforderliche Schärfe zu ertheilen. Sind die Untersuchungen nun auch häufig genug von der Art, daß sie die ausgedehntesten mathematischen Kenntnisse erfordern und deßhalb nur Wenigen zugänglich sein können, so nehmen dagegen andere so geringe Vorkenntnisse aus den Gebieten der Arithmetik und Geometrie in Anspruch, daß sie leicht auf völlig befriedigende und überzeugende Weise zu entwickeln sind. Man darf nur an die elementaren Lehren der Statik und Mechanik, der Akustik und Optik erinnern, um sich zu vergegenwärtigen, wie bedeutsam der Einfluß mathematischer

Behandlungsweise auf die Strenge und Einfachheit in der Darstellung physikalischer Wahrheiten erscheint.

Kaum möchte aber unter allen Gegenständen, mit denen die Naturlehre sich zu beschäftigen hat, irgend einer gefunden werden, der in dieser Hinsicht mit geringeren Mitteln ausreichte, als die Chemie. Seit man erkannt, daß die Gewichtsmengen der Bestandtheile eines Körpers, statt in beliebigen Verhältnissen zusammenzutreten, bei jeder chemischen Verbindung eben so bestimmte als einfache Gesetze befolgen, hat man auch hier die Grundlage der mathematischen Behandlung in arithmetisch zu combinirenden Zahlen gefunden. Aber gerade die große Einfachheit der Zahlenverbindungen, zu denen man durch jene Gesetze veranlaßt wird, scheint von einer ausdrücklich mathematischen Betrachtung derselben abgehalten zu haben; denn da sie in der That auf die elementarsten Sätze der Proportionslehre zurückkommen, glaubte man in den Lehrbüchern der Chemie nur auf diesen Umstand hinweisen und sich auf einzelne Beispiele der Anwendung beschränken zu dürfen; ein Verfahren, das man sogar in den Schriften über Stöchiometrie beobachtet findet, denen es in der Regel nicht an vielfachen und interessanten Beispielen numerischer Berechnung, wohl aber an einer genügenden, rein-mathematischen Begründung derselben fehlt. Unter solchen Umständen erscheint es der Mühe nicht unwerth, den Gegenstand ausschließlich von dieser Seite zu betrachten, um für die unendliche Mannigfaltigkeit specieller Fälle allgemeine Sätze und Regeln in der kurzen und präcisen Ausdrucksweise der Mathematik zu gewinnen.

§. 1.

Die Chemie ist — verspätet gegen die übrigen Zweige der Naturlehre — einer mathematischen Behandlung erst zugänglich geworden, seit drei ausgezeichnete Forscher in Deutsch-

land, England und Frankreich durch die scharfsinnigsten Combinationen, welche sich auf mannigfache und sorgfältige Versuche gründeten, zur Entdeckung folgender empirischen Gesetze gelangten:

1) Nach Richter (Ueber die neuern Gegenstände der Chemie. 1791—1802) findet eine chemische Vereinigung verschiedener Substanzen stets in bestimmten Verhältnissen ihrer Gewichtsmengen Statt, und zwar so, daß, wenn zu einer sogenannten neutralen Verbindung

α Gewichtstheile von (A) mit β G. Th. von (B) und
β " von (B) mit γ G. Th. von (C)

auch nothwendig jene α G. Th. von (A) mit diesen γ G. Th. von (C) zu einer neutralen Verbindung zusammentreten, sofern überhaupt eine solche unter (A) und (C) existirt.

2) Nach Dalton (New System of Chemical philosophy 1808—10) verbindet sich ein Stoff (A) mit einem andern (B) in der Regel nicht nur in dem einfachen Verhältnisse zweier Zahlen a: b, sondern auch in andern Verhältnissen der Vielfachen (Multipla) derselben, dargestellt durch die Reihen:

$$a, 2a, 3a, 4a, 5a, \ldots$$
$$b, 2b, 3b, 4b, 5b, \ldots$$

so daß z. B. $a+b$, $a+2b$, $a+3b$ .... $2a+3b$, $2a+5b$ .... dergleichen chemische Verbindungen repräsentiren.

3) Nach Gay=Lüssac (Mémoire sur la combinaison des substances gazeuses. 1809) vereinigen sich zwei verschiedene Substanzen (A), (B) in ihrem gasförmigen Zustande chemisch dergestalt, daß, wenn V_A ein bestimmtes Volumen des einen, und V_B ein gleiches Volumen des andern bezeichnet, aus den Reihen:

$$V_A, 2V_A, 3V_A, 4V_A, 5V_A \ldots$$
$$V_B, 2V_B, 3V_B, 4V_B, 5V_B \ldots$$

zwei Glieder sich entweder wiederum zu einem einzigen oder zu

zwei, drei, vier . . . *Raumtheilen des nämlichen Inhalts* verbinden.

Diese drei Naturgesetze werden zu einer Quelle eben so wichtiger als einfacher mathematischer Betrachtungen, vermöge deren man die Erfolge chemischer Operationen im Voraus der Berechnung zu unterwerfen und aus einer oft sehr kleinen Zahl gegebener Umstände oder Bedingungen eine Menge anderer, unbekannter zu bestimmen vermag. Da hier aber nur die Verhältnisse der *Gewichte* in Betracht gezogen, die der *Volumina* hingegen unberücksichtigt bleiben sollen, so werden wir im Folgenden, auf weitere Anwendung des dritten Gesetzes verzichtend, uns lediglich an die beiden ersten zu halten haben*).

§. 2.

Bezeichnet man die *Bestandtheile*, welche in eine chemische Verbindung eingehen, wie vorhin, völlig allgemein durch (A), (B), (C), u. s. f; die *Mischungsgewichte*, d. h. die auf einen bestimmten Stoff bezogenen *Verhältnißzahlen*, nach denen sie hinsichtlich des Gewichts sich mit einander verbinden, durch die nämlichen Buchstaben A, B, C . . . jedoch mit Weglassung der einschließenden Klammern; die s. g. *Atomgewichte*, von denen A, B, C . . . im Allgemeinen Vielfache sind, durch a, b, c . . .; endlich die Coefficienten derselben, welche dieses Vielfache ausdrücken und daher *ganze* Zahlen sein müssen, durch m, n, p, q . . .; so gelten offenbar die nachstehenden Gleichungen:

*) Ein viertes aus den scharfsinnigen Untersuchungen von Dulong und Petit sich ergebendes Naturgesetz, „**daß das Product aus dem sogenannten Atomgewichte eines Körpers und seiner specifischen Wärme eine constante Zahl** (zwischen 0,37 und 0,38 enthalten) **sei,**“ erscheint seiner mehrfachen Ausnahmen wegen noch zu problematisch, als daß es den obenerwähnten, durch die zahlreichsten Erfahrungen unzweifelhaft festgestellten, hier hinzugefügt werden könnte.

$$\text{(I)}\quad A : B = \alpha : \beta;\ B : C = \beta : \gamma;\ \text{u. s. w.}$$

$$\text{(II)}\quad A : B : C : D \ldots\ldots = \alpha : \beta : \gamma : \delta \ldots\ldots$$

$$\text{(III)}\quad \frac{\alpha}{A} = \frac{\beta}{B} = \frac{\gamma}{C} = \frac{\delta}{D}\ \text{u. s. f.}$$

nebst den Summenausdrücken

$$\text{(IV)}\quad \alpha + \beta + \gamma + \delta \ldots\ldots = \mu,$$

$$\text{(V)}\quad A + B + C + D \ldots\ldots = M,$$

$$\text{(VI)}\quad ma + nb + pc + qd \ldots\ldots = M,$$

in denen μ das *Gesammtgewicht* des zusammengesetzten Körpers, und M die *Summe der Mischungsgewichte* (oder Multipla der Atomgewichte) andeuten. Alle diese Ausdrücke hat man als *zusammengehörige Fundamentalgleichungen* für jene Untersuchungen zu betrachten, die sich auf Gewichtsbestimmungen chemischer Verbindungen beziehen. Diese Untersuchungen zerfallen wesentlich in folgende Aufgaben:

1) Das *absolute Gewicht* der Bestandtheile einer chemischen Verbindung aus ihrer bekannten Zusammensetzung (chemischen Formel) und dem gegebenen Gesammtgewichte zu finden, wobei die Mischungsgewichte als gegeben vorausgesetzt werden.

2) Die *Mischungsgewichte* der in die Verbindung eingehenden Bestandtheile aus deren absolutem Gewichte zu bestimmen, wobei über die Anzahl der Atome gewisse Voraussetzungen zu machen sind, wenn man den Werth des Atomgewichts angeben will.

3) Die *Anzahl der Atome* (d. h. das Vielfache des einfachen Mischungsgewichts oder Aequivalents) aus den absoluten Gewichten und den entsprechenden Mischungsgewichten der Bestandtheile zu bestimmen.

Sollte es noch einer Erläuterung der obigen in völliger Allgemeinheit aufgestellten Gleichungen bedürfen, so wird man dieselbe in folgendem einfachen Beispiele finden. In 49,5

Grammen **Weinsäure**, deren Formel $C_4H_2O_5$ ist, sind 18 Gr. Kohlenstoff, 1,5 Gr. Wasserstoff und 30 Gr. Sauerstoff enthalten. Aus diesen Angaben ergeben sich unmittelbar die Gleichungen:

$$(1)\ \alpha + \beta + \gamma = \mu;\ \text{d. i. } 18 + 1{,}5 + 30 = 49{,}5$$

$$(2)\ \frac{\alpha}{A} = \frac{\beta}{B} = \frac{\gamma}{C};\ \text{d. i. } \frac{18}{A} = \frac{1{,}5}{B} = \frac{30}{C}$$

und da im vorliegenden Falle (nach der Formel $C_4\ H_2\ O_5$) $A = 4a$; $B = 2b$; $C = 5c$ ist;

$$(3)\ A + B + C = 4a + 2b + 5c = M.$$

Das Aequivalent des Sauerstoffs $c = 1$ gesetzt, findet man hier aus $C = 5.c = 5$ und weil nach Gl. (2): $A : 18 = C : 30$ ist, $A = 4.a = 6$, also $a = 0{,}75$; und $B = 2b = 0{,}25$; also $b = 0{,}125$; daraus folgt endlich als Summengleichung

$$(4)\ 4.\ 0{,}750 + 2.\ 0{,}125 + 5.\ 1{,}000 = 8{,}250 = M.$$

§. 3.

Es ist unter den oben aufgestellten Gleichungen namentlich die dritte, welche besondere Beachtung verdient, da in ihr sich das höchst einfache Gesetz ausspricht, daß die **Quotienten**, welche man erhält, indem man die absoluten Gewichte durch die entsprechenden Mischungsgewichte dividirt, **einander stets gleich sind**. Es läßt sich nämlich diesem Ausdruck eine eigenthümliche Bedeutung unterlegen, sobald man ihm die Form:

$$(VII)\ \alpha.\left(\frac{1}{A}\right) = \beta.\left(\frac{1}{B}\right) = \gamma.\left(\frac{1}{C}\right) = \delta.\left(\frac{1}{D}\right) \ldots$$

ertheilt, wodurch man eine Reihe **gleicher Producte** erhält, deren Form an anderweitig bekannte Gesetze der Mechanik erinnert.

Gehen nämlich zwei Körper (A) und (B) mit einem dritten (C) chemische Verbindungen ein, wobei von dem ersten die **doppelte**, von dem zweiten dagegen nur die **einfache** Gewichtsmenge erforderlich ist, so darf man (nach dem Sprachgebrauch der Chemiker) behaupten, daß die chemische Attraction

oder Affinität in (A) nur halb so groß, als in (B) sei, weil von jenem das zweifache Gewichtsquantum verwandt werden muß, wo das einfache von (B) zu demselben Zwecke ausreichte. Wäre zu einer chemischen Verbindung überhaupt von A das K-fache dessen erforderlich, was von (B) nöthig ist, also allgemein $A = K . B$, so dürfte man in gleicher Weise behaupten, daß die Affinität in (A) nur den Kten Theil derjenigen in (B) betrage, oder mit andern Worten: daß die Affinitäten (chemischen Attractionen) beider Körper sich umgekehrt verhalten, wie ihre Mischungsgewichte.

Bezeichnet man daher die reciproken Werthe der Mischungsgewichte A, B, C, D . . . d. h. $\frac{1}{A}, \frac{1}{B}, \frac{1}{C}, \frac{1}{D} \ldots$ durch $A', B', C', D', \ldots$ so erhält der obige Ausdruck die Gestalt

$$\text{(VIII)} \quad \alpha . A' = \beta . B' = \gamma . C' = \delta . D' \ldots$$

d. h. „**Die Producte aus den Massen der einzelnen Bestandtheile einer chemischen Verbindung in deren Affinitäten sind einander gleich.**"

In dieser Gestalt gewinnt unsere chemische Formel eine augenfällige Uebereinstimmung mit dem wohlbekannten Ausdruck des Gleichgewichts unter den Massen $\alpha, \beta, \gamma \ldots$, welche an den Hebelarmen $A', B', C', \ldots$ eines beweglichen Systems im entgegengesetzten Sinne wirken; oder der Gleichwirkung dieser Massen, wenn sie sich mit den Geschwindigkeiten A', B', C' bewegen; in welchen Fällen die Producte $\alpha A', \beta B', \gamma C' \ldots$ bekanntlich als statische oder mechanische Momente bezeichnet werden. Es möge daher gestattet sein, nach Analogie dieses Ausdrucks die obigen Producte aus den Massen der Bestandtheile in deren Affinitäten chemische Momente zu nennen und in dem Falle, wo für eine Mischung Gleichheit dieser

Momente vorhanden ist, von einem chemischen Gleichgewichte zu reden.

In der That bezeichnet dieser Ausdruck nur denjenigen Zustand einer Mischung von verschiedenen Elementen, in welchem dieselben ihre gegenseitige chemische Thätigkeit auf einander geübt haben und insofern zur Ruhe gelangt sind, als jedes Massentheilchen des einen Stoffs sich mit dem entsprechenden Quantum des andern vereinigt hat. Deuten wir die Bestrebungen zweier Stoffe (A) und (B), sich mit einander chemisch zu vereinigen, für ihre Massen-Einheit durch A' und B' an, während α und β die Massen jener Stoffe (bezogen auf eine beliebig gewählte Einheit des absoluten Gewichts) bezeichnen, so drückt das Product $\alpha\,.\,A'$ die chemische Gesammtwirkung auf den Stoff (A), so wie $\beta\,.\,B'$ diejenige auf den Stoff (B) in der Mischung beider aus, welche eben dadurch zu einer vollständig chemischen Verbindung wird, daß beide Producte einander gleich sind. Wären sie ungleich, so würden nur bis zum Betrage des kleinern die Bestandtheile sich chemisch verbinden und ein Ueberschuß des einen über den andern bleiben, welcher nicht in die Mischung einginge.

§. 4.

Obgleich die Wahl des Stoffes, auf welchen die Affinitäten der Körper bezogen werden, ziemlich gleichgültig erscheint, liegt es doch nahe, dazu den nämlichen Körper zu wählen, der für die Mischungs- und Atomgewichte zu Grunde gelegt wird. Bekanntlich ist dies nach fast allgemeiner Annahme der Sauerstoff, dessen Atomgewicht man = 100 anzunehmen pflegt, aber noch einfacher = 1 setzen kann, um dadurch die Einheit für die Atomgewichte der übrigen Körper zu gewinnen. So möge denn auch die Affinität des Sauerstoffes als Maß für die der übrigen Körper gelten und deßhalb = 1 ge-

setzt werden. Dann ist nach dem Vorhergehenden die Affinität (oder chemische Attraction) jedes beliebigen Stoffes leicht zu berechnen, indem man die Einheit durch sein Aequivalentgewicht dividirt.

Auf diese Weise findet man z. B. als Werthe der Affinität für die im nachstehender Uebersicht aufgeführten Körper die in der letzten Columne angegebenen Zahlen.

Einfache Körper.	Aequivalent (Atomgewicht).	Affinität.
Sauerstoff O .	1,000	1,000
Wasserstoff H .	0,125	8,000
Stickstoff N .	1,750	0,571
Kohlenstoff C	0,750	1,333
Chlor Cl . .	4,433	0,226
Schwefel S .	2,000	0,500
Selen Se . .	4,909	0,204
Phosphor P .	4,000	0,250
Jod J . . .	15,860	0,063
Brom Br . .	10,000	0,100
Fluor F . .	2,375	0,421
Bor B . . .	1,360	0,735
Kiesel Si . .	2,775	0,360
Kalium Ka .	4,900	0,204
Natrium Na .	2,872	0,348
Baryum Ba .	8,565	0,117
Strontium Sr	5,480	0,182
Calcium Ca .	2,500	0,400
Magnesium Mg	1,500	0,666
Aluminium Al	1,710	0,585
Arsen As . .	9,375	0,107
Mangan Mn .	3,450	0,290
Eisen Fe . .	3,500	0,286

Einfache Körper.	Aequivalent (Atomgewicht.)	Affinität.
Zink Zn . .	4,065	0,246
Kobalt Co . .	3,690	0,271
Wismuth Bi .	26,600	0,038
Blei Pl . .	12,945	0,077
Zinn Sn . .	7,250	0,138
Kupfer Cu . .	3,966	0,252
Antimon Sb .	16,125	0,062
Quecksilber Hg	12,550	0,080
Silber Ag . .	13,500	0,074
Gold Au . .	24,550	0,041
Platin Pt . .	12,325	0,082

§. 5.

Nach der vorstehenden Einschaltung, welche den Begriff des chemischen Gleichgewichts, beruhend auf der Gleichheit der chemischen Momente (oder Producte aus Masse und Affinität) der Bestandtheile einer Verbindung zu entwickeln und die Bestimmbarkeit der chemischen Kräfte genauer nachzuweisen hatte, möge von den oben aufgestellten Gleichungen ausdrücklich die unter (III) aufgeführte zur Betrachtung gezogen werden. Sie kann ebensowohl, wie die ihr identische unter Nr. (VIII), die Gleichung der Momente genannt werden, da es für die Rechnung (namentlich wenn man sich der Logarithmen bedient) ziemlich gleichgültig ist, ob man Zahlen zu dividiren oder zu multipliciren habe; es soll daher im Nachstehenden nur die erste von beiden Gleichungsformen berücksichtigt werden. Es ist darin die vollständige Auflösung der im § 2 bezeichneten ersten Aufgabe enthalten, sofern man nur den arithmetischen Satz berücksichtigt, nach welchem

wenn $\frac{\alpha}{A} = \frac{\beta}{B} = \frac{\gamma}{C} = \frac{\delta}{D} \ldots = \frac{\mu}{M}$ ist,

auch $\frac{\alpha+\beta+\gamma+\delta\ldots\ldots}{A+B+C+D\ldots\ldots}=\frac{\alpha}{A}=\frac{\mu}{M}$ sein muß.

Sei nämlich das absolute Gewicht eines zusammengesetzten Körpers oder auch seiner Bestandtheile zu bestimmen, dessen chemische Formel als gegeben betrachtet werden darf, so folgt unmittelbar aus der Gleichung der Momente

$$\text{(IX) (1) } \alpha=A.\frac{\beta}{B}=A.\frac{\gamma}{C}\ldots \text{(2) } \alpha=A.\frac{\mu}{M}; \text{(3) } \mu=M.\frac{\alpha}{A}.$$

d. h. **„Man findet das absolute Gewicht eines Bestandtheils oder auch der ganzen Verbindung, indem man das entsprechende Mischungsgewicht mit dem chemischen Momente multiplicirt."**

Da man nach dem oben angeführten arithmetischen Satze aber auch ferner noch

$$\text{(4) } \alpha+\beta+\gamma\ldots\ldots,=(A+B+C\ldots)\frac{\mu}{M}$$

setzen darf, so folgt, daß die vorstehende Behauptung nicht minder wie von einzelnen Bestandtheilen auch von deren beliebigen Summen gilt.

Folgende Beispiele mögen zur Erläuterung dienen.

(1.) Wie viel Schwefel ist erforderlich, um mit 100 Grammen Eisen Einfach-Schwefeleisen (Fe S) zu bilden?

Das Aequivalent für Eisen ist = 3,5 und für Schwefel = 2, folglich

$$\alpha=A.\frac{\beta}{B}, \text{ d. i. } =2.\frac{100}{3,5}=57,14 \text{ Gr.}$$

(2.) Wieviel Barymoxyd ist im 44,31 Grammen schwefelsaurem Baryt ($Ba\,O+SO_3$) enthalten?

Da zufolge der Aequivalententafel $Ba\,O$ = 9,565 und SO_3 = 5,000, also hier M = 14,565 ist, so findet man

$$\alpha=A.\frac{\mu}{M}, \text{ d. i. } =9,565.\frac{44,31}{14,564}=29,12 \text{ Gr.}$$

(3) Durch Zersetzung von Ammoniak (H_3N) wünscht

man dem Gewicht nach 3,22 Grammen Stickstoff zu erhalten. Wieviel Ammoniak hat man dazu nöthig?

Da $H = 0,125$, so ist $H_3 = 0,375$. Ferner hat man $N = 1,750$, also $H_3 N = 2,125$ und daher im gegenwärtigen Falle

$$\mu = M . \frac{\alpha}{A} = 2,125 . \frac{3,22}{1,750} = 3,91 \text{ Gr.}$$

(4) Wieviel wasserfreies kohlensaures Natron ist in 16,54 Grammen des krystallisirten Salzes (d. h. in $NaO + CO_2 + 10\ HO$) enthalten?

Man findet $NaO = 3,872$; $CO_2 = 2,750$; $10\ HO = 11,25$; also die Summe der Aequivalente $M = 17,872$, und folglich

$$\alpha + \beta = (A + B)\ \frac{\mu}{M}, \text{ d. i.} = 6,622 . \frac{16,54}{17,872} = 6,129 \text{ Gr.}$$

§. 6.

Sollen dagegen (nach Aufgabe 2, S. 119) die Mischungsgewichte der Bestandtheile einer chemischen Verbindung aus deren absoluten Gewichten, wie die Analyse solche ergeben hat, bestimmt werden, so folgt aus der Gleichung der chemischen Momente:

$$(X) \ldots (1)\ A = \alpha : \frac{\beta}{B} = \alpha : \frac{\gamma}{C} \ldots \quad (2)\ A = \alpha : \frac{\mu}{M};\ (3)\ M = \mu : \frac{\alpha}{A}$$

d. h. „**Das Mischungsgewicht eines Bestandtheils oder auch der ganzen Verbindung berechnet man, indem man das entsprechende absolute Gewicht durch das chemische Moment dividirt.**"

Beispiele dieser Berechnung sind folgende.

(1) Das Aequivalentgewicht des Bleies zu bestimmen, wenn man aus 213,3 Grammen Bleioxyd 198 Gr. metallisches Blei durch Reduction gewonnen hat.

Die Quantität des Sauerstoffs ist nach vorstehenden An=

gaben = 213,3 — 198, d. i. 15,3 Gr. Also hat man unter der Annahme, daß im Bleioxyd von jedem der Bestandtheile ein Aequivalent vorhanden sei:

$$A = \alpha : \frac{\beta}{B}, \text{ d. i. } 198 : \frac{15{,}3}{1{,}00} = 12{,}941.$$

(2) Das Atomgewicht der kohlensauren Strontianerde (des Strontianits), wofür die chemische Formel $SrO + CO_2$ ist, finde man irgendwo zu 9,23 angegeben. Nun sind in 22,4 Grammen des Strontianits 15,72 Gr. Strontiumoxyd enthalten. Wie groß ist demnach das Aequivalent des Strontiums in jener Zahl angenommen?

Hier ist $A = \alpha : \frac{\mu}{M} = 15{,}72 : \frac{22{,}4}{9{,}23} = 6{,}478$ das Atomgewicht des Oxyds SrO; also 5,478 (da $O = 1$) dasjenige des Strontiums.

(3) Das Mischungsgewicht von Kalium-Platinchlorid ($PtCl_2 + KaCl$) aus dem des Platins = 12,325 berechnend, wenn man 19,79 Grammen jenes Körpers aus 8 Gr. Platin erhalten hat, findet man

$$M = \mu : \frac{\alpha}{A}, \text{ d. i. } = 19{,}79 : \frac{8}{12{,}325} = 30{,}49.$$

Um aus dem berechneten Mischungsgewichte das einfache Aequivalent- oder s. g. Atomgewicht zu finden, bedarf es augenscheinlich in allen den Fällen, wo man ein bestimmtes Vielfaches anzunehmen Grund hat, noch einer Division durch 2, 3, 4 . . . ., worüber sich indessen im Allgemeinen nichts bestimmen, sondern nur dann etwas Näheres entscheiden läßt, wenn man auf anderm Wege vergleichbare Mischungsgewichte zu erhalten im Stande ist.

So findet man z. B. in 26 Grammen phosphorsaurer Kalkerde 14 Gr. Calciumoxyd, und berechnet hieraus, wenn das Aequivalent der Phosphorsäure anderweitig = 13 bestimmt ist, dasjenige der Kalkerde nach dem Ausdruck:

$$A = \alpha : \frac{\beta}{B} = 14 : \frac{26}{13} = 7;$$

wonach das Aequivalent des Calciums = 6 sein würde, wenn die Kalkerde als Ca O zu betrachten wäre.

Nun enthalten aber 36 Grammen kohlensaure Kalkerde 20,16 Gr. Kalkerde und 15,84 Gr. Kohlensäure (CO_2), deren Atomgewicht = 2,75 anderweitig gefunden ist. Folglich hat man hier

$$A = \alpha : \frac{\beta}{B} = 20,16 : \frac{15,84}{2,75} = 3,5;$$

womit der obige Werth sich nur dann verträgt, wenn man annimmt, daß in der phosphorsauren Kalkerde 2 Aequivalente des Oxyds vorkommen, da die berechnete Zahl 7 genau das Doppelte von 3,5 ist. Das gesuchte Atomgewicht das Calciums würde demzufolge = 3,5 — 1 = 2,5 sein.

§. 7.

Die Lösung der dritten unter den obigen Aufgaben: die Anzahl der Atome oder die Coefficienten der Aequivalentgewichte zu finden, welche im Allgemeinen in den Mischungsgewichten als ihrem Vielfachen enthalten sind, kann als unmittelbare Folge der so eben behandelten Aufgabe angesehen werden, sofern man bereits das Aequivalent- oder s. g. Atomgewicht des betreffenden Körpers kennt, wie dies in folgendem Beispiele der Fall ist.

Man hat durch eine Analyse des Pharmakolits (arsenikfauren Kalks) in 100 Gewichtstheilen dieses Minerals 25,187 Kalkerde, 50,941 Arsenikfäure und 23,872 Wasser gefunden und soll nach diesen Angaben die chemische Formel desselben ermitteln. Bezeichnet man die drei erwähnten Bestandtheile der Reihe nach durch (A), (B), (C), wo a = 3,500; b = 14,375; und c = 1,125 ist, so wird die Gleichung der chemischen Momente:

$$\frac{25,187}{m\,.\,3,500} = \frac{50,641}{n\,.\,14,375} = \frac{23,872}{p\,.\,1,125},$$

oder in einfacheren Zahlen annäherungsweise

$$\frac{7}{m} = \frac{3,5}{n} = \frac{21}{p},$$

welchen Verhältnissen Genüge geschieht, wenn man $m = 2$, $n = 1$ und $p = 6$ annimmt. Die chemische Formel des Pharmakoliths ist demnach $= 2\ CaO,\ AsO_5 + 6\ HO$.

In diesem Beispiele wurden die Atomgewichte der Bestandtheile des Körpers als bekannt vorausgesetzt. Ist aber das Atomgewicht eines Bestandtheils ebenfalls noch unbekannt oder sucht man unabhängig von demselben seinen Coefficienten zu bestimmen, so reichen die obigen Hülfsmittel der Rechnung so wenig aus, daß man vielmehr durch Erweiterung der ganzen Untersuchung neue Bestimmungswege einzuschlagen suchen muß, wozu auch andre Aufgaben von einiger Verwickelung nöthigen.

Sämmtliche bisherige Betrachtungen bezogen sich nämlich auf eine einzige chemische Verbindung (M) und die derselben entsprechenden Gleichungen. Die Untersuchung gewinnt aber eben so sehr an Interesse wie an Bedeutung, wenn man sie auf zwei Verbindungen (M) und (M') ausdehnt, in denen irgend ein gemeinschaftlicher Bestandtheil vorkommen möge, da hiermit die Anzahl der Bestimmungsgrößen wesentlich erweitert und eine neue Quelle gegenseitiger Beziehungen eröffnet wird. In den hier der Betrachtung zu Grunde zu legenden Gleichungen:

$$\text{(XI.)}\,..\,1.\left\{\begin{array}{l}\alpha + \beta + \gamma\ .\ .\ .\ . = \mu\\ A + B + C\ .\ .\ .\ . = M\\ ma + nb + pc\ .\ . = M\end{array}\right\} \text{und } 2.\left\{\begin{array}{l}\alpha' + \beta' + \gamma'\ .\ .\ ,\ .\ .\ . = \mu'\\ A' + B' + C'\ .\ .\ .\ .\ . = M'\\ m'a + n'b + p'c\ .\ . = M'\end{array}\right\}$$

bezeichnen α und α' die absoluten Gewichte, ma und $m'a$ aber die Mischungsgewichte (Multipla der Aequivalente) irgend eines Bestandtheils (A), welcher beiden Körpern gemeinschaftlich ist. Ob außer denselben noch andere gleiche Bestandtheile in ihnen

vorkommen, mag unentschieden bleiben, sofern es nicht ausdrücklich vorausgesetzt wird.

Aus den vorstehenden Gleichungen findet man nun zufolge der Gleichheit der chemischen Momente:

$$\frac{\alpha}{ma} = \frac{\mu}{M'} \text{ und } \frac{a'}{m'a} = \frac{\mu'}{M'};$$

$$\text{also auch (1) } \frac{\alpha}{m} : \frac{\alpha'}{m'} = \frac{\mu}{M} : \frac{\mu'}{M'},$$

ein Ausdruck, welcher noch einfacher und brauchbarer wird, wenn man die Anzahl der Atome in beiden Körpern als gleich annehmen darf; denn in diesem Falle ist

$$(2)\ \alpha : \alpha' = \frac{\mu}{M} : \frac{\mu'}{M'};$$

d. h. **„Die absoluten Gewichte des gemeinschaftlichen Bestandtheils zweier Körper verhalten sich, wie deren chemische Momente, wenn beide gleichviel Atome jenes Bestandtheils enthalten."**

Eine weitere Folgerung hieraus sind noch die Gleichungen:

$$(5)\ \mu : \mu' = \alpha M : \alpha' M'; \text{ u. } (4)\ M : M' = \frac{\mu}{\alpha} : \frac{\mu'}{\alpha'},$$

nach denen sich, wenn von den sechs Bestimmungsgrößen α, α', μ, μ', M, M' nur eine unbekannt ist, diese leicht aus den übrigen berechnen läßt.

Zur Erläuterung vorstehender allgemeiner Andeutungen mögen die nachstehenden Fälle dienen.

(1.) Die Atomenzahl m des Kohlenstoffs in der Essigsäure zu bestimmen, wenn man aus 100 Gr. essigsaurem Bleioxyd (durch Glühen mit Kupferoxyd) 68,44 Gr. Blei und 56 Gr. Kohlensäure erhalten hat.

Da sowohl im essigsauren Bleioxyd wie in der Kohlensäure als gemeinschaftlicher Bestandtheil Kohlenstoff vorkommt, so bezeichne man dessen absolutes Gewicht mit α, α' in den Gleichungen

$$1.\ \begin{cases} \alpha + \beta + \ldots = \mu \\ ma + nb \ldots = M \end{cases} \text{ und } 2 \begin{cases} \alpha' + \delta' \ldots = \mu' \\ m'a + r'd = M' \end{cases}$$

während β und b sich auf Blei und δ' und d auf Sauerstoff beziehen mögen. Der Voraussetzung zufolge ist hier aber $\alpha' = \alpha$, also nach der obigen Gleichung (1):

$$m' : m = \frac{\mu}{M} : \frac{\mu'}{M'}, \text{ d. i. } \frac{100}{20{,}376} : \frac{56}{2{,}764} = 1 : 4.$$

Demnach sind in einem Aequivalent Essigsäure 4 Atomgewichte Kohlenstoff enthalten, wenn in der Kohlensäure nur ein einziges solches Atomgewicht vorkommt.

(2.) Das Verhältniß der Gewichtsmengen des Natrons zu finden, welche in $\mu = 414$ Grammen krystallisirtem schwefelsauren Natron und $\mu' = 708$ Grammen krystallisirtem essigsauren Natron enthalten sind, wenn $M = 20{,}15$ und $M' = 17{,}025$ gesetzt werden.

Hier findet man unmittelbar nach Gleichung (2):

$$\alpha : \alpha' = \left(\frac{414}{20{,}15}\right) : \left(\frac{708}{17{,}025}\right) = 21{,}044 : 41{,}589$$

oder in einfacheren Verhältnissen:

$$\alpha : \alpha' = 1000 : 2024 = 125 : 253.$$

(3) Wie verhalten sich die Gewichtsmengen von Quecksilberchlorür (Hg_2Cl) und salpetersaurem Quecksilberoxydul ($Hg_2O, NO_5 + 2HO$), wenn im erstern 574 Grammen, im zweiten 385 Grammen Quecksilber enthalten sind?

Die Einführung der genannten Zahlenwerthe in Gleichung (3) giebt:

$$\mu : \mu' = 574 \,.\, 29{,}43 : 385 \,.\, 35{,}00$$
$$\text{d. i.} = 1254 : 1000$$

(4) Das Aequivalentgewicht des sauren weinsauren Kali's anzugeben, wenn nach einer Analyse in 4 Grammen desselben 1 Gr. Kali, und in 25 Gr. kohlensaurem Kali (KaO, CO_2) dessen Aequivalent 8,65 beträgt, 17 Gr. Kali enthalten sind.

Nach der 4. Gleichung ist

$$M : M', \text{ d. i. } M : 8,65 = \frac{4}{1} : \frac{25}{17},$$

woraus sich M = 23,53 ergiebt.

§. 8.

Noch brauchbarer für die Anwendung werden die Gleichungen (XI), wenn man annimmt, daß nicht allein die Atomenzahl, sondern auch das absolute Gewicht α des gemeinsamen Bestandtheils (A) in beiden Körpern identisch sei, wodurch sie in folgende übergehen:

$$(XII. \ldots 1. \begin{cases} \overset{\alpha}{A} + \overset{\beta}{B} \ldots = \overset{\mu}{M} \end{cases} \quad 2. \begin{cases} \overset{\alpha}{A} + \overset{\gamma}{C} \ldots = \overset{\mu'}{M'} \end{cases}$$

Aus dieser Annahme folgt nämlich unmittelbar Gleichheit der Momente für beide Verbindungen, mithin:

$$(1.)\ \frac{\beta}{B} = \frac{\gamma}{C};\ (2.)\ \frac{\alpha + \beta}{A + B} = \frac{\gamma}{C};\ (3)\ \frac{\mu}{M} = \frac{\mu'}{M'}.$$

Zur Anwendung dieser Formeln geben nachstehende Aufgaben Veranlassung:

(1.) Man bestimme die Quantität Salpetersäure, welche in einer gewissen Menge salpetersaurem Baryt (BaO, NO_5) enthalten ist, wenn man 112,4 (= γ) Grammen wasserfreie Schwefelsäure zur Sättigung des Baryts anwenden mußte.

Bezieht man in obigen Ausdrücken A auf Baryt, B auf Salpetersäure, C auf Schwefelsäure, also M auf salpetersauren und M' auf schwefelsauren Baryt, so hat man nach Gleichung (1):

$$\beta = B.\frac{\gamma}{C} = 6,75 \,.\, \frac{112,4}{5,00} = 151,73 \text{ Gr.}$$

(2.) Das Quantum Essigsäure zu bestimmen, welches in einer gegebenen Auflösung enthalten ist, wenn man

a) durch Zusetzen von 87,63 Gr. Baryt bis zur Sättigung der Säure neutralen essigsauren Baryt, und dann

b) durch Präcipitation vermittelst 47,17 Grammen wasserfreier Schwefelsäure schwefelsauren Baryt erhalten hat.

Hier ist in (XII) der erste Ausdruck (A,B) auf schwefelsauren, der zweite (A,C) dagegegen auf essigsauren Baryt zu beziehn; folglich nach Gleichung (2) das Quantum der Essigsäure:

$$\gamma = C\left(\frac{\alpha + \beta}{A + B}\right) = 6{,}375\left(\frac{87{,}63 + 47{,}17}{9{,}565 + 5{,}000}\right)$$

$$\text{d. i.} = 6{,}375 \cdot \frac{134{,}8}{14{,}565} = 59{,}14 \text{ Gr.}$$

(3) Die Menge Chorbaryum zu berechnen, woraus 277,8 Grammen schwefelsaurer Baryt gewonnen sind.

Bezieht man hier M auf Ba,Cl = 13,00 und M′ auf BaO, SO_3 = 14,565, so ist nach Gleichung (5):

$$\mu = M \cdot \frac{\mu'}{M'} = 13{,}00 \frac{277{,}8}{14{,}565} = 248 \text{ Gr.}$$

§. 9.

Die Gleichungen (XII) nebst ihren Folgerungen sind namentlich auf den häufig vorkommenden Fall zu beziehen, wo in einem Körper (M) irgend ein Bestandtheil (B) durch einen andern (C) ausgeschieden oder (wie dies in vielen Mineralien Statt findet), durch einen solchen vertreten wird. In Rücksicht auf eine solche Vertretung mögen hier die gleichen Quotienten $\frac{\beta}{B}$ und $\frac{\gamma}{C}$ äquivalente Momente und die einander entsprechenden absoluten Gewichte β und γ äquivalente Massen von (B) und (C) genannt werden. Die specielle Vorstellung, worauf die obigen Gleichungen gegenwärtig bezogen werden, nöthigt übrigens, alle Bestandtheile beider Verbindungen außer (B) und (C) als identisch zu betrachten, da (M) durch die Vertauschung in (M′) übergehen soll.

Man erhält endlich noch aus den Ausdrücken des vorigen Paragraphen:

(4.) $\beta - \gamma = \mu - \mu'$; und da auch (5) $\beta - \gamma = (B - C)\,\frac{\gamma}{C}$;

(6.) $\frac{\gamma}{C} = \frac{\mu - \mu'}{B - C}$; also auch (7) $\frac{\alpha}{A} = \frac{\mu - \mu'}{B - C}$;

wonach das für β äquivalente Gewicht γ von (C) sich auch ohne Kenntniß von β bestimmen läßt, dessen Werth sich dann aus (5) ergiebt.

Sind ferner (M) und (M') binäre Verbindungen, so hat man:

$$\alpha = \mu - \beta = \mu' - \gamma,$$

und da γ (nach Gleichung 6) bekannt ist, nach Gl. 7 ebenfalls das Mischungsgewicht des Bestandtheils (A).

Zur Anwendung vorstehender Ausdrücke diene folgende Aufgabe: Man bestimme das Mischungsgewicht (s. g. Atomgewicht) des Lithiums, wenn nach Berzelius 4,454 Gr. geschmolzenes kohlensaures Lithiumoxyd nach Sättigung mit destillirter Schwefelsäure 6,653 Gr. wasserfreies schwefelsaures Lithiumoxyd geben.

Hier ist Lithiumoxyd = (A), Schwefelsäure = (B), Kohlensäure = (C); also

nach Gl. (4) $\beta - \gamma = \mu - \mu' = 6{,}653 - 4{,}454 = 2{,}199$

" " (6) $\gamma = C\left(\frac{\mu - \mu'}{B - C}\right) = 2{,}75\,.\,\frac{2{,}199}{2{,}25} = 2{,}688$

" " (7) $A = \alpha : \left(\frac{\mu - \mu'}{B - C}\right) = 1{,}766 : \frac{2{,}199}{2{,}25} = 1{,}807$

weil nämlich $\alpha = \mu' - \gamma = 4{,}454 - 2{,}688 = 1{,}766$ gefunden wird. Nach Subtraction der Einheit, als Aequivalents des Sauerstoffs von A = 1,807 findet man mithin für dasjenige des Lithiums die Zahl 0,807 (Berzelius berechnet sie zu 80,375 für O = 100; nach neueren Bestimmungen wird sie = 81,66 gesetzt.)

§. 10.

Geht man von der Annahme aus, daß in den Verbindungen (M) und (M′) zwei gleiche Bestandtheile (A), (B) und zwar mit gleicher Atomenzahl, aber mit ungleichen Gewichten α, α' und β, β' vorkommen, so verwandeln sich die Gleichungen (XI) des § 7 in folgende:

$$\text{(XIII.)}\ 1.\left\{\frac{\alpha}{A} + \frac{\beta}{B} + \ldots = \frac{\mu}{M}\right\} \text{ und } 2.\left\{\frac{\alpha'}{A} + \frac{\beta'}{B} + \ldots = \frac{\mu'}{M'}\right\}$$

$$\text{mithin ist } \frac{\alpha + \beta}{A + B} = \frac{\beta}{B} \text{ und } \frac{\alpha' + \beta'}{A + B} = \frac{\beta'}{B},$$

woraus sich, wenn man $\alpha + \beta = \varphi$ und $\alpha' + \beta' = \varphi'$ setzt, die beiden Gleichungen

$$(1)\ \beta' = \beta \cdot \frac{\varphi'}{\varphi}\ ;\ \text{und}\ (2)\ \alpha' = \varphi' - \beta'$$

ergeben, so daß man völlig unabhängig von der Kenntniß der Mischungsgewichte die absoluten Gewichte α' und β' von (A) und (B) in (M′) finden kann, wenn man deren Summe φ' und außerdem α und β in dem Körper (M) kennt.

Repräsentiren z. B. (M) und (M′) wasserfreien und wasserhaltigen schwefelsauren Kalk (Anhydrit und Gyps) und habe man in 100 Grammen des ersteren 41,54 Kalkerde (α) und 58,46 Schwefelsäure (β); in 33 Grammen des andern aber φ' oder $(\alpha' + \beta') = 26$ Gr. schwefelsauren Kalk gefunden, so ergiebt sich als dessen Gehalt an Schwefelsäure:

$$\beta' = \beta \cdot \frac{\varphi'}{\varphi} = 58{,}46 \cdot \frac{26}{100} = 15{,}2 \text{ Gr.}$$

und daher als Quantität der Kalkerde:

$$\alpha' = \varphi' - \beta' = 26 - 15{,}2 = 10{,}8 \text{ Gr.}$$

§. 11.

Ungeachtet der Mannigfaltigkeit von Bestimmungen, welche die im Vorstehenden betrachteten Combinationen der chemischen

Fundamentalgleichungen für zwei Verbindungen (M) und (M′) gestatten, lassen sie uns in Absicht der Coefficientenbestimmung, wodurch die Anzahl der Atome oder einfachen Aequivalente ermitteln werden soll, doch noch ohne Befriedigung. Zur Lösung dieser Aufgabe (die in völliger Allgemeinheit allerdings als die schwierigste der oben erwähnten Aufgaben bezeichnet werden darf), leitet indessen die specielle Voraussetzung, daß (M) und (M′) Verbindungen der nämlichen Bestandtheile (A), (B), . . . sein mögen, von denen aber nicht nur die absoluten Gewichte $\alpha, \alpha', \ldots$ und $\beta, \beta', \ldots$ als ungleich, sondern zugleich die Atomenzahlen m, p, . . . und n, q, . . . als völlig unbestimmt angesehen werden müssen, so daß man hier weder $m = p$, noch $n = q$ voraussetzen darf. Nach dieser Annahme folgt nun aus den Gleichungen:

$$\text{(XIV.)}\quad 1.\ \begin{Bmatrix} \alpha + \beta \ \ldots = \mu \\ ma + nb \ldots = M \end{Bmatrix} \qquad 2.\ \begin{Bmatrix} \alpha' + \beta' \ \ldots = \mu' \\ pa + qb \ldots = M' \end{Bmatrix}$$

$$(1.)\ \frac{\alpha}{ma} = \frac{\beta}{nb} \text{ oder } m : n = \frac{\alpha}{a} : \frac{\beta}{b};$$

$$(2.)\ \frac{\alpha'}{m'a} = \frac{\beta'}{n'b} \text{ oder } m' : n' = \frac{\alpha'}{a} : \frac{\beta'}{b};$$

$$\text{also } (3.)\ \frac{m}{m'} : \frac{n}{n'} = \frac{\alpha}{\alpha'} : \frac{\beta}{\beta'};$$

$$\text{oder } (4.)\ \frac{m \,.\, n'}{m' \,.\, n} = \frac{\alpha \,.\, \beta'}{\alpha' \,.\, \beta};$$

ein Ausdruck, der zur Bestimmung von m, n, m′, n′, leitet, indem man versuchsweise dafür die ganzen Zahlen 1, 2, 3, . . substituirt, welche wenigstens näherungsweise dem aus den absoluten Gewichten $\alpha, \beta, \alpha', \beta'$ berechneten Quotienten Genüge leisten. Jedenfalls erhält man aber, wie man leicht sieht, nur Verhältnißzahlen, von denen irgend ein Vielfaches den in (3.) und (4.) enthaltenen Bedingungen ebensowohl genügen würde. Nur Gründe der Wahrscheinlichkeit können bestimmen, die kleinsten der zulässigen ganzen Zahlen als absolute Werthe der Coefficienten gelten zu lassen.

Um ein Beispiel für die Anwendung dieser Bestimmungsmethode zu erhalten, wähle man zwei verschiedene Mineralien, worin zwei Bestandtheile in abweichenden Procent-Verhältnissen vorkommen, wie etwa Chrysolith und Speckstein, welche beide Talkerde und Kieselsäure enthalten. In jenem beträgt die Talkerde 55,5 und die Kieselsäure 39,7 p. C., in diesem ist das Verhältniß das von 31,5 zu 66,7 p. C. Folglich findet man nach Gl. (4.):

$$\frac{m \, . \, n'}{m' . \, n} = \frac{\alpha \, . \, \beta'}{\alpha' . \, \beta} = \frac{55,5 \, . \, 66,7}{31,5 \, . \, 39,7} = \frac{3702}{1250},$$

d. h. annähernd den Zahlenwerth 3, welcher hier offenbar auf m zu beziehen ist, während m′, n und n′ = 1 zu setzen sind, entsprechend den Formeln des Chrysoliths = $3MgO,SiO_3$ und des Specksteins = MgO, SiO_3.

Eine andere (und zwar die gewöhnliche) Voraussetzung über die in (XIV) enthaltenen Gleichungen ist, daß statt $\mu = \mu'$ vielmehr $\alpha = \alpha'$, d. h. das absolute Gewicht eines Bestandtheils beider Körper identisch sei, woraus man indessen nicht folgern darf, daß deshalb auch m = m′ sein müsse. Nach dieser Annahme verwandelt sich die Gleichung (4) in

$$(5) \quad m.n' : m'.n = \beta' : \beta;$$

oder in $(6) \quad n' : n = \beta' : \beta;$

sofern man die Atomenzahlen n, n′ ausdrücklich auf ein gleiches Mischungsgewicht von (A) beziehen, also nur das Verhältniß bestimmen will, worin ein Körper (B) sich mit der Einheit jenes andern verbindet, während die absoluten Werthe von n und n′, so wie von m und m′ dadurch völlig unbestimmt gelassen werden.

Man kennt z. B. zwei Verbindungen des Eisens mit dem Sauerstoff: Eisenoxyd = 100 Eisen + 44,22 Sauerstoff, und Eisenoxydul = 100 Eisen + 29,30 Sauerstoff.

Da nun hier $\alpha = \alpha' = 100$ angenommen ist, so hat man nach Gl. (5)

$$\frac{m \cdot n'}{m' \cdot n} = \frac{\beta'}{\beta} = \frac{2930}{4422}, \text{ d. i. nahe } = \tfrac{2}{3}.$$

Daraus folgt also, daß der Sauerstoff sich im Verhältniß der Zahlen 2 und 3 mit der nämlichen Gewichtsmenge des Eisens verbindet; irrig aber wäre es, daraus folgen zu wollen, daß man deshalb diese Oxyde durch FeO_2 und FeO_3 auszudrücken habe, weil m keineswegs $= m'$ sein muß, wenn $\mu = \mu'$ angenommen wird. In der That geschieht der Bedingung, daß $m.n' : m'.n$ sich verhalte, wie $2 : 3$, dadurch Genüge, daß man $m = 2$, $n = 3$, $m' = 1$ und $n' = 1$ annimmt, wie dies auch anderweitigen Bestimmungen entspricht, nach denen man für Eisenoxyd die Formel Fe_2O_3 und für Eisenoxydul FeO findet.

§ 12.

Wie die Betrachtung im Vorstehenden sich auf die Zusammenstellung von zwei chemischen Verbindungen beschränkte, so läßt sie unter bestimmten Voraussetzungen sich ebenfalls auf drei derselben ausdehnen. Es muß nämlich in je zweien dieser Verbindungen ein gemeinschaftlicher Bestandtheil vorkommen, der als vermittelndes Glied zwischen den sie repräsentirenden Gleichungen benutzt werden kann. Angenommen, daß sowohl das absolute Gewicht wie die Atomenzahl eines gemeinsamen Bestandtheils in je zweien der zusammengestellten Verbindungen übereinstimme, ist der allgemeine Ausdruck derselben:

$$\text{(XV.)} \quad 1. \left\{ \begin{matrix} \alpha + \beta \ldots = \mu \\ A + B \ldots = M \end{matrix} \right\} \quad 2. \left\{ \begin{matrix} \beta + \gamma \ldots = \pi \\ B + C \ldots = P \end{matrix} \right\} \quad 3. \left\{ \begin{matrix} \gamma + \delta \ldots = \varrho \\ C + D \ldots = R \end{matrix} \right\}$$

Aus diesen Gleichungen folgt, da $\beta : B = \gamma : C$, völlige Gleichheit der chemischen Momente sowohl der zusammengesetzten Körper als ihrer einzelnen Bestandtheile, also

$$(1.)\ \frac{\mu}{M} = \frac{\pi}{P} = \frac{\varrho}{R};$$

$$(2.)\ \frac{\alpha}{A} = \frac{\beta}{B} = \frac{\gamma}{C} = \frac{\delta}{D},$$

wonach man außer den absoluten Gewichten μ, π, ϱ der drei zusammengesetzten Körper nur eines ihrer Aequivalente **M**, **P**, **R** zu kennen braucht, um auch die übrigen und eben so das Aequivalent eines beliebigen Bestandtheils zu finden, dessen Gewicht uns bekannt ist.

Zu einer Anwendung dieser allgemeinen Betrachtung giebt namentlich der Fall Veranlassung, wo irgend ein Bestandtheil einer chemischen Verbindung durch einen andern verdrängt und ersetzt wird, und wo dasselbe mit dem andern Bestandtheil der neuen Verbindung sich wiederholt. Man habe z. B. aus 420 Grammen zweifach kohlensaurem Natron 804,4 Grammen krystallisirtes schwefelsaures Natron, und dann aus diesem 340 schwefelsauren Kalk gewonnen, so läßt sich — wenn man das Aequivalent **R** = 8,5 des letztgenannten Salzes kennt, mit leichter Mühe der Werth für **M** und **P** finden, und falls das Gewicht $\delta = 140$ Grammen des Kalkes gegeben ist, eben so das Aequivalent **D** dieses einzelnen Bestandtheils. Es ist nämlich in Folge der vorstehenden Angaben $\varrho : R = 340 : 8{,}5 = 40$, folglich nach Gl. (1)

$$\frac{\mu}{M} = \frac{420}{10{,}5};\ \frac{\pi}{P} = \frac{804{,}4}{20{,}11},$$

und ferner zufolge Gl (2)

$$\frac{\delta}{D} = \frac{140}{D} = 40,\ \text{also}\ D = \frac{140}{40} = 3{,}5.$$

Werden die obigen allgemeinen Ausdrücke ausdrücklich auf binäre Verbindungen bezogen, so fallen sie unter die bestimmtere Form

$$(\text{XVI.})\ 1. \begin{Bmatrix} \alpha + \beta = \mu \\ A + B = M \end{Bmatrix}\ 2. \begin{Bmatrix} \beta + \gamma = \pi \\ B + C = P \end{Bmatrix}\ 3. \begin{Bmatrix} \gamma + \delta = \varrho \\ C + D = R \end{Bmatrix}$$

und mit Hülfe dieser Gleichungen sind die Werthe von α, β, γ, δ sämmtlich gegeben, wenn man nur einen derselben neben den absoluten Gewichten μ, π, ϱ der binären Verbindungen kennt.

Man erhalte z. B.

aus $\mu = 259{,}5$ Gr. kohlensaurem Kali (KaO, CO_2)

$\pi = 327$ Gr. schwefelsaures Kali (KaO, SO_3);

und aus diesem wiederum

$\varrho = 437$ Gr. schwefelsauren Baryt (BaO, SO_3);

so beziehen sich in obigen Gleichungen die Andeutungen

α, A auf Kohlensäure;

β, B „ Kali;

γ, C „ Schwefelsäure;

δ, D „ Baryt;

und man findet, wenn man z. B. von Kali das absolute Gewicht $\beta = 177{,}2$ Gr. ermittelt hat:

$$\gamma = \pi - \beta = 327 = 177{,}2 = 149{,}8;$$

$$\alpha = \mu - \beta = 259{,}5 - 177{,}2 = 82{,}3;$$

$$\delta = \varrho - \gamma = 437 - 149{,}8 = 287{,}2.$$

Augenscheinlich ist die vorstehende Betrachtung keineswegs an die Voraussetzung gebunden, daß der chemischen Verbindungen *drei* gegeben seien, sondern vielmehr der Ausdehnung auf *beliebig viele* solcher Verbindungen fähig, in denen ein gemeinschaftlicher Bestandtheil die jedesmalige Vermittelung zwischen zweien derselben bildet. Die obige Darstellung wird es hinreichend deutlich machen, wie man in solchen Fällen aus einer mäßigen Anzahl von Bestimmungsgrößen sowohl die noch unbekannten absoluten Gewichte als die denselben entsprechenden Aequivalente der chemischen Verbindungen oder ihrer Bestandtheile mit Leichtigkeit zu berechnen im Stande ist.

Betrachtungen

über die

Molecular-Attraction.

Betrachtungen über die Molecular-Attraction.

Zur Beurtheilung der Attraction, mit welcher die kleinsten Theilchen der Körper sich zu vereinigen streben, geben uns einerseits die bekannten Gesetze der Gravitation, anderntheils mikroskopische Beobachtungen, wie deren an einem frühern Orte (S. 35 — 48) Erwähnung geschehen ist, einen näheren Anhalt. Im Allgemeinen wird das Naturgesetz, daß die Anziehung im directen Verhältniß der Massen und im umgekehrten des Quadrats der Entfernungen erfolge, auch auf die Körpermolecüle bezogen werden dürfen. Aber es können bei so großer Annäherung der Theilchen, wie sie hier statt findet, auch noch andere specielle Kräfte in's Spiel kommen, unter denen Electricität und Magnetismus in bekannten Erscheinungen so bedeutsam hervortreten, daß man ihrer vor allen zu gedenken hat. Wenn man wahrnimmt, wie die staubartigen Partikelchen der Eisenfeilspäne am Pole eines Magnets sich zu langen Fäden aneinanderreihen und dann die nadelförmige Gruppirung in einer krystallisirenden Salzauflösung (z. B. von salpetersaurem Ammonium) beobachtet, so kann man sich der Vermuthung nicht erwehren, daß hier ein gemeinsames polarisches Gesetz die Molecularanziehung in bestimmter Richtung bewirke. Die augenfällig lineare Gruppirung in einer großen Menge fester Körper weis't deutlich darauf hin, daß bei Bildung derselben die ordnende Kraft in solcher bestimmten Richtung thätig gewesen sei. Anders verhält es sich freilich mit den s. g. amorphen Körpern, wo durchaus keine bestimmte Gruppirung der Theilchen

hervortritt, sondern die Cohäsion aus einer gleichen Anziehung nach allen Seiten abzuleiten ist. In diesem Fall wird die Attraction ähnlich wirken wie in einer homogenen Flüssigkeit, nur daß die Beweglichkeit oder Unbeweglichkeit der neben einander liegenden Theilchen, im Allgemeinen durch den Einfluß der Wärme bedingt, die Erscheinungen wesentlich ungleich macht.

Die Adhäsion als Wirkung verschiedenartiger Körper in unmittelbarer Nähe muß auf dieselben Vorstellungen zurückgeführt werden, welche der Cohäsion amorpher Körper zum Grunde liegen. Auch hier wirkt die Attraction nach allen Seiten; da sie aber von zwei verschiedenartigen Substanzen ausgeht, die gegenseitig in einer Gesammtheit von Theilen auf einander wirken, so ist auch ihr Resultat für beide Substanzen ein anderes.

Von den hier erwähnten Molecularanziehungen unterscheidet sich die chemische als Attraction der vereinzelten kleinsten Theile zwei verschiedenartiger Körper, während bei den Erscheinungen der Cohäsion und Adhäsion die Molecüle zu größeren Massen vereinigt auf einander einwirken. Zu einer solchen chemischen Einwirkung ist nun aber Beweglichkeit der Theilchen, welche zur Erzeugung eines neuen Körpers zusammentreten, Erforderniß; wenigstens wird einer der beiden Körper, welche sich chemisch verbinden sollen, sich im flüssigen (liquiden oder gasförmigen) Zustande befinden müssen.

Gehen wir nach diesen allgemeinen Vorbemerkungen zu der näheren Untersuchung über, wie die verschiedenen Aeußerungen der Molecular-Attraction als Cohäsion, Adhäsion und chemische Anziehung oder Affinität genauer zu bestimmen und auf die sonst geläufigen Begriffe der mechanischen Naturlehre zurückzuführen sind.

Denken wir uns in solcher Absicht zunächst durch eine homogene Flüssigkeit eine Trennungsebene gelegt, um zu untersuchen, wie ein diesseits der Ebene liegendes Massentheilchen a von den in seiner Nähe befindlichen Molecülen, welche jenseits derselben liegen, angezogen werde. Wenn man in diesem Falle sich erlaubt, das Gesetz der Gravitation zur Anwendung zu bringen, wonach die Anziehung von sämmtlichen jenseits liegenden Molecülen, die sich überhaupt innerhalb der hier geltenden Wirkungssphäre befinden, nach Maßgabe ihres Abstandes erfolgt, so darf man die fragliche Kraft als Resultirende einer unendlichen Menge von Attractionen betrachten, welche von concentrischen Schichten einer Halbkugel ausgehen, in deren Mittelpunct sich das angezogene Massentheilchen befindet.

Augenscheinlich muß die Richtung dieser Resultirenden genau in die Mitte der Halbkugel fallen, welche die attractiven Molecüle in sich schließt, also im Puncte a senkrecht zur Trennungsebene stehen, die wir angenommen haben. Denkt man sich nun weiter (um die mathematische Betrachtung in den Gränzen der Elemente zu halten) den Radius r der Halbkugel in eine unendlich große Anzahl (n) gleicher Theile getheilt, deren Länge durch h bezeichnet werden möge, also $r = n \cdot h$ gesetzt, so ist die Summe aller concentrischen Schichten, da die Oberfläche einer Halbkugel bekanntlich durch $2r^2 \cdot \pi$ gegeben wird:

$$2\,[nh]^2 \cdot \pi \cdot h + 2\,[(n-1)\,h]^2 \cdot \pi \cdot h + 2\,[(n-2)\,h]^2 \cdot \pi \cdot h + \text{etc}$$

welche Reihe unter der Form

$$2\,\pi\,.\,h^3\,[n^2 + (n-1)^2 + (n-2)^2 + \text{etc.}\,\ldots],$$

da die Summe der Quadratzahlen einer unendlichen Reihe von 1 bis $n^2 = \frac{n^3}{3}$ gesetzt werden darf, sich auf

$$2\,h^3 \cdot \pi \cdot \frac{n^3}{2} = 2\left(\frac{r}{n}\right)^3 \cdot \pi \cdot \frac{n^3}{3} = {}^2\!/_3\, r^3 \cdot \pi$$

d. h. auf die bekannte Formel für den körperlichen Inhalt einer Halbkugel vom Radius r zusammenzieht.

Wenn die Attraction nun aber im directen Verhältniß der Massen und im umgekehrten der Quadrate der Entfernungen wirkt, so muß man den einzelnen Gliedern der obenstehenden Reihe den gemeinsamen Factor d als Ausdruck der Dichtigkeit (Masse der Volumen-Einheit), so wie beziehungsweise die Divisoren $[nh]^2$, $[(n-1)\,h]^2$, $[(n-2)\,h]^2$, u. s. w. hinzufügen, um den Totalwerth der Anziehung auf das Molecül a zu erhalten. Dieser wäre, wenn die Anziehungen sämmtlich in der nämlichen Richtung erfolgten, da alle n Glieder der obigen Reihe übereinstimmend, zu $2\,h\,\pi\,.\,d$ werden:

$$2nh\,\pi\,.\,d = 2r\pi\,.\,d$$

Offenbar muß aber diesem Werthe noch ein ächter Bruch p als Faktor hinzugefügt werden, da einem beliebigen Molecül im Allgemeinen ein anderes in gleichem Abstande von der Richtungslinie der Resultirenden gegenüberliegt und die vereinte Wirkung dieser beiden Molecüle auf den Punct a kleiner ist als ihre Summe. Demnach erhält man als Ausdruck der Gesammtanziehung auf a:

$$S = 2\,p\,.\,r\pi\,.\,d\text{*)}$$

und wenn man unter den obigen Voraussetzungen die Attractionen zwei verschiedener Körper betrachtet, als deren Verhältniß:

$$S : S' = 2pr.\pi.d : 2pr'.\pi.d' = rd : r'd'$$

wonach die Molecular-Attractionen zweier Substanzen auf einen an ihrer Oberfläche befindlichen materiellen Punct im zu-

*) Zu dem nämlichen Ausdrucke gelangt man durch die höhere Analysis indem man das Integral

$$\iint \frac{2y\pi dy dx}{x^2+y^2}$$

von $y = o$ bis $y = \sqrt{(r^2 - x^2)}$ und dann von $x = o$ bis $x = r$ nimmt.

sammengesetzten Verhältniß des Radius ihrer Wirkungssphäre und ihrer Dichtigkeit zu einander stehen.

Dieser Ausdruck bleibt augenscheinlich unverändert, wenn er auf die gesammte Berührungsfläche aneinander gränzender Körper (A, B, C...) bezogen wird, sofern dieselbe nur die nämliche ist. Er kann daher auf die Adhäsion, wie auf die Cohäsion angewandt werden, sofern man von dem Umstande absieht, daß die letztere zugleich von einer eigenthümlichen Lagerung und Gestaltung der kleinsten Körpertheilchen abhängig erscheint, welche hierbei nicht in Rechnung gebracht ist, aber gleichwohl auf die Stärke des Zusammenhangs von bedeutendem Einfluß sein wird. Denken wir uns prismatisch geformte Körper von gleicher Gestalt und gleichem Querschnitt hinsichtlich ihrer absoluten Festigkeit einer Prüfung unterworfen und die Gewichte bestimmt, bei denen ein Abreißen derselben erfolgt, so darf man unter der Annahme, daß die übrigen Umstände gleich seien, den obigen Ausdruck

$$S : S' = r.d : r'.d' \text{*)}$$

auf diesen Fall anwenden, und daraus folgern, daß

$$r : r' = \frac{S}{d} : \frac{S'}{d'}$$

sich verhalten, so daß man hier im Stande sein würde, das Verhältniß der Tiefe, bis zu welcher die Molecular-Attraction in zwei verschiedenen Körpern sich erstreckt, zu finden, wenn

*) Mit Rücksicht auf den Umstand, daß nicht nur die an der Trennungsfläche liegende Schicht, sondern auch die ihr parallelen Schichten materieller Punkte, welche sich in ihrer unmittelbaren Nähe befinden, eine Anziehung von der andern Seite erfahren, müßte dem Werthe von S noch irgend ein Coefficient hinzugefügt werden. Da aber dasselbe mit dem Werthe von S' der Fall sein würde und man beide Coefficienten als gleich annehmen darf, so erleidet dadurch das obige Verhältniß keine Aenderung.

man deren absolute Festigkeit nebst ihrer Dichtigkeit kennt. Läßt man die vorstehenden Annahmen gelten, so erhält man z. B.

für Stahl	S = 125000;	d = 7,8;	also S : d = 16020
„ Eisen	S = 75000;	d = 7,5;	. . . S : d = 10000
„ Kupfer	S = 36000;	d = 8,7;	. . . S : d = 4140
„ Silber	S = 42000;	d = 10,5;	. . . S : d = 4000
„ Gold	S = 21000;	d = 19,3;	. . . S : d = 1090
„ Blei	S = 900;	d = 11,4;	. . . S : d = 80
„ Glas	S = 2800;	d = 2,8;	. . . S : d = 1000

Diesen Resultaten zufolge wäre mithin die Tiefe, bis zu welcher die Molecular-Anziehung thätig ist, für Blei, Glas, Gold, Silber, Eisen, Stahl auszudrücken durch das Verhältniß der Zahlen 8, 100, 109, 400, 1000, 1600, unter denen die beiden letzten durch ihren beträchtlichen Werth an die bekannte magnetische Wirksamkeit des Eisens und Stahls erinnern. Indessen beruhet die ganze vorstehende Betrachtung auf Voraussetzungen, denen Körper von so verschiedener innerer Beschaffenheit, wie die hier beispielsweise erwähnten, sicherlich nicht entsprechen werden, so daß man jene abweichende Zahlenverhältnisse, welche für dieselben gefunden sind, unstreitig zum Theil auf Rechnung der abweichenden Textur, einer verschiedenartigen Gruppirung ihrer kleinsten Theile, setzen muß. Dies geht schon aus dem bekannten Umstande hervor, daß in den zu Stangen oder Dräthen ausgezogenen Metallen die absolute Festigkeit ungleich beträchtlicher ist, als in den nämlichen Metallen, sofern sie sich im gegossenen Zustande befinden, oder daß die absolute Festigkeit des Holzes wesentlich von der Lage des Querschnitts gegen die Fasern desselben abhängig erscheint.

Gehört dagegen die Trennungsfläche der einander berührenden Körper A, B nicht derselben Substanz an, wie dies im Vorstehenden vorausgesetzt wurde, sondern sind A und B specifisch verschieden, so wird es im Allgemeinen auch ihre Dich-

tigkeit so wie die Tiefe sein, bis zu welcher ihre Wirksamkeit sich erstreckt. Da aber die Kraft, womit beide Körper zusammenhangen, und die ihrer Trennung Widerstand leistet, die nämliche für beide ist, so ergiebt sich der Ausdruck

$$r.d = r'.d' \text{ oder } r : r' = d' : d$$

als Bedingungsgleichung für die Adhäsion, wonach die Tiefe, bis zu welcher die Attraction sich erstreckt, hier im umgekehrten Verhältniß der Dichtigkeit steht.

Legt man die Zahlen der Gewichte zu Grunde, welche zum Abreißen adhärirender Körper gleichen Durchschnitts von irgend einer Substanz erforderlich sind, so läßt sich hier nach demselben Ausdruck, wie oben für die Cohäsion, das Verhältniß der Tiefe bestimmen, bis zu welcher die anziehende Kraft in jenen Körpern sich erstreckt. So ist z. B. nach den Angaben von Guyton de Morveau, wenn man die Adhäsion verschiedener Metalle an Quecksilber prüft:

für Gold	$S = 446$;	$d = 19{,}3$;	also	$S : d = 33{,}1$
„ Silber	$S = 429$;	$d = 10{,}5$;	. . .	$S : d = 40{,}8$
„ Blei	$S = 397$;	$d = 11{,}4$;	. . .	$S : d = 34{,}9$
„ Kupfer	$S = 142$;	$d = 8{,}7$;	. . .	$S : d = 16{,}3$
„ Eisen	$S = 115$;	$d = 7{,}5$;	. . .	$S : d = 15{,}3$

wonach also die Anziehung des Blei's zum Quecksilber sich mehr als doppelt so tief, wie die des Kupfers erstrecken würde.

Es mag mit Recht bedenklich erscheinen, wenn im Vorhergehenden der nämliche Ausdruck für das Verhältniß der zusammenhaltenden Kräfte für die Cohäsion wie für die Adhäsion benutzt worden ist. Vielleicht sollte er nur auf die letztgenannte der beiden Erscheinungen beschränkt werden, da es sich bei der Untersuchung derselben in der That um eine ebene Trennungsfläche handelt, wie sie oben vorausgesetzt wurde, während bei den Versuchen über absolute Festigkeit der Körper, also bei der Prüfung der Cohäsionsverhältnisse,

Bruchflächen der unregelmäßigsten Begränzung zum Vorschein kommen, die wesentlich von der Beschaffenheit des innern Gefüges der kleinsten Theilchen abhängen, so daß die Zahlenwerthe der Cohäsion gewissermaßen als Summen derjenigen der Adhäsion und des Moleculargefüges betrachtet werden können.

Gehen wir endlich zur Betrachtung der Molecular-Anziehung über, wie zwei Substanzen A, B sie chemisch auf einander üben, so ist es angemessen, beide als in einer Flüssigkeit aufgelöst und daher bis auf ihre kleinsten Theilchen in einem durchaus beweglichen Zustande sich vorzustellen. Nehmen wir ferner äußerst kleine Gewichtsmengen von A und B (etwa Bruchtheile eines Milligramms) an, welche durch α und β angedeutet werden mögen, so werden diese Massen bei hinreichender Nähe einander gegenseitig anziehen und in Folge dieser Anziehung sich gegen einander bewegen müssen, wie gering auch diese Bewegung (nach unsern gewöhnlichen Vorstellungen beurtheilt) anzuschlagen sein mag.

Angenommen nun, daß in Folge der gegenseitigen Anziehung beider Substanzen der in einer gewissen Zeiteinheit von α durchlaufene Weg $= A'$, der von β beschriebene aber $= B'$ sei, so ist $\alpha : \beta = B' : A'$ oder $\alpha . A' = \beta . B'$ zu setzen, da nach den Gesetzen der Mechanik zwei Massen, welche in Folge einer constanten Kraft einander anziehen, Geschwindigkeiten annehmen, welche ihnen umgekehrt proportional sind. In der vorstehenden Gleichung drücken A′ und B′ die unendlich kleinen Geschwindigkeiten der Massen α und β, zugleich die attractiven Kräfte aus, von denen diese wechselseitig angezogen werden, d. h. A′ ist das Maß der anziehenden Kraft, welche die Masse β auf α, und B′ dasjenige der Attraction, welche α auf β ausübt.

Daß die Gleichung $\alpha . A' = \beta . B'$ in der That die Bedingung des chemischen Gleichgewichts der Bestandtheile

einer binären Verbindung ausdrücke, in welchem Sinne sie bereits früher (S. 107 und 121) hingestellt wurde, läßt sich indessen in noch anderer Weise, und zwar durch aus der Statik geschöpfte Vorstellungen, erläutern. Denken wir uns nämlich die chemische Verbindung von α und β bereits bestehend und irgend eine Kraft (z. B. Wärme oder Electricität) thätig, dieselbe aufzuheben, so muß diese die Gegenkraft überwinden, womit α von β oder β von α angezogen und zurückgehalten wird. Wie klein aber auch diese Massen angenommen werden mögen, immer werden sie als Vielfache einer noch viel kleineren molecularen Einheit angesehen werden dürfen, und wenn man die Kräfte, welche auf diese Einheit in den Massen α und β wirken, beziehungsweise durch A' und B' andeutet, so hat die trennende Kraft offenbar einen Widerstand zu überwinden, der ebensowohl durch $\alpha . A'$ als durch $\beta' . B'$ ausgedrückt werden kann.

Es mag hier noch ausdrücklich die Bemerkung eine Stelle finden, daß aus den vorstehenden Betrachtungen das Richter'sche Erfahrungsgesetz, nach welchem

wenn ein Gewicht α von (A) sich mit β von (B)
und ferner β von (B) sich mit γ von (C),
ebenfalls α von (A) sich mit γ von (C)

chemisch verbindet, als eine einfache Consequenz erscheint. Denn ist $\alpha . A' = \beta . B' = \gamma . C'$, so hat man zugleich

$$\frac{\alpha}{A} = \frac{\beta}{B} = \frac{\gamma}{C}$$

folglich auch $A : B : C = \alpha : \beta : \gamma$

wenn $A' = \frac{1}{A}$, $B' = \frac{1}{B}$, $C' = \frac{1}{C}$ gesetzt wird, wo A, B, C die Verhältnißzahlen für die Mischungsgewichte (Aequivalente) der chemischen Verbindungen aus den gegebenen Stoffen bezeichnen.

einer binären Verbindung ausdrückt, in welchem Sinne sie bereits früher (S. 107 und 121) hingestellt wurde, läßt sich indessen in noch anderer Weise, und zwar durch aus der Statik geschöpfte Vorstellungen, erläutern. Denken wir uns nämlich die chemische Verbindung von α und β bereits bestehend und irgend eine Kraft (z. B. Wärme oder Electricität) thätig, dieselbe aufzuheben, so muß diese die Gegenkraft überwinden, womit α von β oder β von α angezogen und zurückgehalten wird. Wie klein aber auch diese Massen angenommen werden mögen, immer werden sie als Vielfache einer noch viel kleineren moleculären Einheit angesehen werden dürfen, und wenn man die Kräfte, welche auf diese Einheit in den Massen α und β wirken, beziehungsweise durch A' und B' andeutet, so hat die trennende Kraft offenbar einen Widerstand zu überwinden, der ebensowohl durch α . A' als durch β . B' ausgedrückt werden kann.

Es mag hier noch ausdrücklich die Bemerkung eine Stelle finden, daß aus den vorstehenden Betrachtungen das Richter'sche Erfahrungsgesetz, nach welchem

wenn ein Gewicht α von (A) sich mit β von (B)
und ferner β von (B) sich mit γ von (C),
ebenfalls α von (A) sich mit γ von (C)

chemisch verbindet, als eine einfache Consequenz erscheint. Denn ist $\alpha . A' = \beta . B' = \gamma . C'$, so hat man zugleich

$$\frac{\alpha}{A} = \frac{\beta}{B} = \frac{\gamma}{C}$$

folglich auch $A : B : C = \alpha : \beta : \gamma$

wenn $A' = \frac{1}{A}$, $B' = \frac{1}{B}$, $C' = \frac{1}{C}$ gesetzt wird, wo A, B, C die Verhältnißzahlen für die Mischungsgewichte (Aequivalente) der chemischen Verbindungen aus den gegebenen Stoffen bezeichnen.

Schulz.

Tellkampf, Adolf,

Physikalische Studien Eine Reihe naturwissenschaftlicher Abhandlungen. (Inhalt: Leibniz über die Bildung der Erdoberfläche. - Mikroskopische Beobachtungen über Beystallbildung. - Aeltern und neuern Ansichten über die Gestaltung der Materie. - Atomistik und Dynamik. - Ueber die Bildung chemischer Verbindungen. - Zur mathematischen Behandlung der Chemie. -

Hannover 1854